

VOLUME 2

organizadores

Ingrid Winkler

Thiago Barros Murari

Joyce Batista Azevedo

José Alberto Díaz Amado

Paulo Eduardo Ambrósio

Márcio Fontana Catapan

Fabiane de Jesus Paz

# COMPETÊNCIAS DO AMANHÃ

Pesquisa e Prática com Tecnologias Imersivas,  
Aditivas e de Fronteira na Indústria 4.0 e Além



SENAI  
**CIMATEC**  
UNIVERSIDADE



UFBA  
Universidade  
Federal da Bahia



Universidade  
Estadual de  
Santa Cruz



INSTITUTO  
FEDERAL  
Bahia  
Campus  
Vitória da  
Conquista



fapesb  
Fundação de Amparo  
à Pesquisa do Estado da Bahia



GOVERNO DA  
**BAHIA**  
SECRETARIA DE CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



VOLUME 2

organizadores

Ingrid Winkler

Thiago Barros Murari

Joyce Batista Azevedo

José Alberto Díaz Amado

Paulo Eduardo Ambrósio

Márcio Fontana Catapan

Fabiane de Jesus Paz

# COMPETÊNCIAS DO AMANHÃ

Pesquisa e Prática com Tecnologias Imersivas,  
Aditivas e de Fronteira na Indústria 4.0 e Além



SENAI  
**CIMATEC**  
UNIVERSIDADE



Universidade  
Estadual de  
Santa Cruz



fapesb  
Fundação de Amparo  
à Pesquisa do Estado da Bahia



pimenta  
teijunho  
2025  
São Paulo

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

C737

Competências do Amanhã: pesquisa e prática com tecnologias imersivas, aditivas e de fronteira na Indústria 4.0 e além / Organização Ingrid Winkler... [et al.]. – São Paulo: Pimenta Cultural, 2025.

Demais organizadores: Thiago Barros Murari, Joyce Batista Azevedo, José Alberto Díaz Amado, Paulo Eduardo Ambrósio, Márcio Fontana Catapan, Fabiane de Jesus Paz.

Volume 2

Livro em PDF

ISBN 978-85-7221-627-2

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-627-2

1. Indústria 4.0. 2. Tecnologias Imersivas. 3. Transformação Digital. 4. Inovação Tecnológica. 5. Transferência de Tecnologia. I. Winkler, Ingrid (Org.). II. Murari, Thiago Barros (Org.). III. Azevedo, Joyce Batista (Org.). IV. Amado, José Alberto Díaz (Org.). V. Ambrósio, Paulo Eduardo (Org.). VI. Catapan, Márcio Fontana (Org.). VII. Paz, Fabiane de Jesus (Org.). VIII. Título.

CDD 670.285

Índice para catálogo sistemático:

I. Indústria 4.0 - Inovação Tecnológica

Simone Sales - Bibliotecária - CRB: ES-000814/0

Copyright © Pimenta Cultural, alguns direitos reservados.

Copyright do texto © 2026 os autores e as autoras.

Copyright da edição © 2026 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/>](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	Ana Flávia Pivisan Kobata Júlia Marra Torres
Diretor de criação	Raul Inácio Busarello
Assistente de arte	Naiara Von Groll
Edição eletrônica	Stela Tiemi Hashimoto Kanada
Imagens da capa	rawpixel.com, graphic24online - Freepik.com
Tipografias	Acumin, Apotek, Roster Compressed
Revisão	Agnaldo Alves
Organizadores	Ingrid Winkler Thiago Barros Murari Joyce Batista Azevedo José Alberto Díaz Amado Paulo Eduardo Ambrósio Márcio Fontana Catapan Fabiane de Jesus Paz

---

**PIMENTA CULTURAL**

São Paulo • SP

+55 (11) 96766 2200

[livro@pimentacultural.com](mailto:livro@pimentacultural.com)

[www.pimentacultural.com](http://www.pimentacultural.com)



2 0 2 6

# CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

## Doutores e Doutoradas

**Adilson Cristiano Habowski**

*Universidade La Salle, Brasil*

**Adriana Flávia Neu**

*Universidade Federal de Santa Maria, Brasil*

**Adriana Regina Vettorazzi Schmitt**

*Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil*

**Aguimario Pimentel Silva**

*Instituto Federal de Alagoas, Brasil*

**Alaim Passos Bispo**

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil*

**Alaim Souza Neto**

*Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil*

**Alessandra Knoll**

*Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil*

**Alessandra Regina Müller Germani**

*Universidade Federal de Santa Maria, Brasil*

**Aline Corso**

*Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil*

**Aline Wendpap Nunes de Siqueira**

*Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil*

**Ana Rosângela Colares Lavand**

*Universidade Estadual do Norte do Paraná, Brasil*

**André Gobbo**

*Universidade Federal da Paraíba, Brasil*

**André Tanus Cesário de Souza**

*Faculdade Anhanguera, Brasil*

**Andressa Antunes**

*Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil*

**Andressa Wiebusch**

*Universidade Federal de Santa Maria, Brasil*

**Andreza Regina Lopes da Silva**

*Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil*

**Angela Maria Farah**

*Universidade de São Paulo, Brasil*

**Anísio Batista Pereira**

*Universidade do Estado do Amapá, Brasil*

**Antonio Edson Alves da Silva**

*Universidade Estadual do Ceará, Brasil*

**Antonio Henrique Coutelo de Moraes**

*Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil*

**Arthur Vianna Ferreira**

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil*

**Ary Albuquerque Cavalcanti Junior**

*Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil*

**Asterlindo Bandeira de Oliveira Júnior**

*Universidade Federal da Bahia, Brasil*

**Bárbara Amaral da Silva**

*Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil*

**Bernadette Beber**

*Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil*

**Bruna Carolina de Lima Siqueira dos Santos**

*Universidade do Vale do Itajaí, Brasil*

**Bruno Rafael Silva Nogueira Barbosa**

*Universidade Federal da Paraíba, Brasil*

**Caio Cesar Portella Santos**

*Instituto Municipal de Ensino Superior de São Manuel, Brasil*

**Carla Wanessa do Amaral Caffagni**

*Universidade de São Paulo, Brasil*

**Carlos Adriano Martins**

*Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil*

**Carlos Jordan Lapa Alves**

*Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil*

**Caroline Chioquetta Lorenset**

*Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil*

**Cassia Cordeiro Furtado**

*Universidade Federal do Maranhão, Brasil*

**Cássio Michel dos Santos Camargo**

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil*

**Cecilia Machado Henriques**

*Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil*

**Christiano Martino Otero Avila**

*Universidade Federal de Pelotas, Brasil*

**Cláudia Samuel Kessler**

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil*

**Cristiana Barcelos da Silva**

*Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil*

**Cristiane Silva Fontes**

*Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil*

**Daniela Susana Segre Guertzenstein**

*Universidade de São Paulo, Brasil*

**Daniele Cristine Rodrigues**

*Universidade de São Paulo, Brasil*

**Dayse Centurion da Silva**

*Universidade Anhanguera, Brasil*

**Dayse Sampaio Lopes Borges**

*Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil*

**Deilson do Carmo Trindade**

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil*

**Diego Pizarro**

*Instituto Federal de Brasília, Brasil*

**Dorama de Miranda Carvalho**

*Escola Superior de Propaganda e Marketing, Brasil*

**Edilson de Araújo dos Santos**

*Universidade de São Paulo, Brasil*

**Edson da Silva**

*Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil*

**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*

**Fabrcia Lopes Pinheiro**

*Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil*

**Fauston Negreiros**

*Universidade 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 Ehlert 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 Polastrel 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 Bieging**

*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 Uberlândia, 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*

**Elisiane Borges Leal**  
*Universidade Federal do Piauí, Brasil*

**Elizabete de Paula Pacheco**  
*Universidade Federal de Uberlândia, 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

*Ingrid Winkler*

**Apresentação do livro** .....15

*Marcus de Almeida Gomes*

*Handerson Jorge Dourado Leite*

**Prefácio** .....18

## CAPÍTULO 1

*Fábia Cunha Ferreira Santos*

*Fabiane de Jesus Paz*

*Ingrid Winkler*

*Rui Silva*

**Realidade virtual**

**no teletrabalho colaborativo:**

aplicações, oportunidades

e desafios – uma revisão da literatura .....23

## CAPÍTULO 2

*Luiz Gutemberg Santiago Dias Junior*

*Cristiano Vasconcellos Ferreira*

*Ester Carvalho Soares Machado*

*Yasmim Thasla Santos Ferreira*

*Ingrid Winkler*

**Realidade virtual aplicada**

**ao desenvolvimento de produtos**

**na indústria de petróleo e gás:**

uma breve revisão.....38

CAPÍTULO 3

*Augusto Vitor Bomfim Silva Lima*

*Juliana Vinagre Lisboa*

*Laisa Santos de Oliveira*

*Rafael Vieira Miguez*

*Felipe Leão da Silva Dias*

*Ester Carvalho Soares Machado*

*Yasmim Thasla Santos Ferreira*

*Ingrid Winkler*

*Thiago Barros Murari*

**O papel da realidade virtual  
na melhoria da ergonomia e usabilidade  
do condutor no setor automotivo:**

uma breve revisão da literatura .....49

CAPÍTULO 4

*Victoria Mariane Cardoso Silva*

*Lucas Gregory Gomes de Almeida*

*Márcio Fontana Catapan*

**Análise de percepção de risco  
em realidade virtual:**

um estudo de caso com *biofeedback* ..... 57

CAPÍTULO 5

*Marcus Vinícius Oliveira Ribeiro Brandão*

*Camille Pereira Guimarães*

*Iuri Silva Brito*

*João Vitor Siqueira Fonseca*

*Daniel marques Santana Oliveira*

*Andressa Clara Barbosa de Araujo*

*Ingrid Winkler*

*Cristiane Agra Pimentel*

**Missão Lean:**

metodologia ativa através da realidade virtual .....68

CAPÍTULO 6

*Priscila Coutinho Miranda*

*Thiago Barros Murari*

*Soraia Vanessa Matarazzo*

**Capacidades tecnológicas das organizações de assistência técnica e extensão rural para atuação no contexto da Indústria 4.0 e da transformação digital.....80**

CAPÍTULO 7

*Herman Augusto Lepikson*

**Arquitetura escalável e generalizável para evolução de sistemas legados aos novos paradigmas da Indústria 4.0.....90**

CAPÍTULO 8

*Sanval Ebert de Freitas Santos*

*Ingrid Winkler*

**Arquitetura da Aprendizagem Inteligente: construindo um modelo conceitual para ambientes virtuais de ensino e aprendizagem com inteligência artificial ..... 102**

CAPÍTULO 9

*Amanda Oliveira Alves*

*Alex Vinicius Souza Araújo*

*Amanda Morais Almeida*

*Geovana Pires Araujo Lima*

*Paulo Eduardo Ambrósio*

**Revisão integrativa entre agentes virtuais e ambientes imersivos baseados em vídeos 360° ..... 114**

CAPÍTULO 10

*Pedro Vitor Oliveira da Silva*

*Crescencio Lima*

*José Alberto Díaz Amado*

*João Erivando Soares Marques*

*Cléia Libarino*

*Luis Alves Correia Filho*

*Kenedy Marconi Geraldo Santos*

**Aplicando Business Intelligence**

**no contexto de sistemas**

**de serviços autônomos ..... 127**

CAPÍTULO 11

*Allan França Dutra*

*Crescencio Lima*

*José Alberto Díaz Amado*

*João Erivando Soares Marques*

*Cléia Libarino*

*Luis Alves Correia Filho*

*Kenedy Marconi Geraldo Santos*

**Desenvolvimento de um sistema**

**de controle remoto para**

**um robô seguidor de linha..... 139**

CAPÍTULO 12

*Caio Alves da Cruz Andrade*

*José Alberto Díaz Amado*

*Crescencio Lima*

*João Erivando Soares Marques*

*Cléia Libarino*

*Luis Alves Correia Filho*

*Kenedy Marconi Geraldo Santos*

**Implementação de um sistema**

**de reconhecimento de alfabeto**

**em Libras baseado em *landmarks*  
e redes neurais artificiais..... 150**

CAPÍTULO 13

*Amanda Oliveira Alves*

*Maicon Daniel Silva Santana*

*Geovana Pires Araujo Lima*

*Ingrid Winkler*

*Paulo Eduardo Ambrósio*

**Diretrizes para a criação  
e desenvolvimento de conteúdos  
com vídeos 360°:**

estudo de caso no turismo virtual..... 161

CAPÍTULO 14

*Alex Vinicius Souza Araújo*

*Maicon Daniel Silva Santana*

*Wagner Freitas e Silva*

*Gabriel Marques de Andrade*

*Amanda Oliveira Alves*

*Francisco Bruno Souza Oliveira*

*Geovana Pires Araujo Lima*

*Paulo Eduardo Ambrósio*

**Ambientes virtuais como ferramentas  
de apoio à aprendizagem:**

Museu Virtual da Independência da Bahia

e Museu Virtual de Tecnologias Imersivas..... 169

CAPÍTULO 15

*Carina Santos Silveira*

*France Ferreira de Souza Arnaut*

*Paulo Fernando de Almeida Souza*

**Acessibilidade ao patrimônio cultural:**

*framework* de desenvolvimento de tecnologia

assistiva para inclusão de deficientes visuais

à percepção de acervos artísticos..... 183

CAPÍTULO 16

*Joyce Batista Azevedo*

*Iago Rodrigues de Abreu*

*Joyce Mara Brandão Maia*

*Rodrigo Santiago Coelho*

**Desafios e oportunidades**

**para materiais aplicados**

**à manufatura aditiva..... 203**

**Sobre os organizadores**

**e as organizadoras..... 218**

**Sobre as autoras e os autores..... 220**

**Índice remissivo.....232**

# APRESENTAÇÃO DO LIVRO

É com satisfação que apresentamos esta coletânea de resultados da nossa rede de colaboração científica e tecnológica INCITE Indústria 4.0, que reúne 16 capítulos representativos da diversidade temática, da consistência acadêmica e do compromisso do programa com a pesquisa aplicada, a inovação e a formação. Ao articular tecnologias imersivas, inteligência artificial, automação, acessibilidade, educação, patrimônio cultural e manufatura avançada, a obra oferece um panorama qualificado de investigações conectadas aos desafios da transformação digital e às demandas concretas da indústria e da sociedade.

Os capítulos “Realidade Virtual no Teletrabalho Colaborativo: aplicações, oportunidades e desafios - uma revisão da literatura” e “Realidade Virtual Aplicada ao Desenvolvimento de Produtos na Indústria de Petróleo e Gás: uma breve revisão” abrem a coletânea destacando o papel da realidade virtual em contextos organizacionais e industriais, seja no fortalecimento da colaboração remota, seja no apoio ao desenvolvimento de soluções para setores de alta complexidade tecnológica.

Na sequência, “O Papel da Realidade Virtual na Melhoria da Ergonomia e Usabilidade do Condutor no Setor Automotivo: uma breve revisão da literatura” e “Análise de percepção de risco em realidade virtual: um estudo de caso com biofeedback” mostram como os ambientes imersivos podem contribuir para a qualificação de projetos, para a segurança do usuário e para avaliações mais precisas da experiência em contextos de risco.

Os capítulos “Missão Lean: metodologia ativa através da realidade virtual” e “Capacidades Tecnológicas das Organizações

de Assistência Técnica e Extensão Rural para Atuação no Contexto da Indústria 4.0 e da Transformação Digital” ampliam o debate ao relacionar inovação, formação e transformação institucional, evidenciando como tecnologias digitais e metodologias ativas podem apoiar tanto o ensino quanto a adaptação de organizações a novos contextos tecnológicos.

Em seguida, “Arquitetura escalável e generalizável para evolução de sistemas legados aos novos paradigmas da indústria 4.0” e “Arquitetura da Aprendizagem Inteligente: Construindo um Modelo Conceitual para Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem com Inteligência Artificial” abordam, sob diferentes perspectivas, a necessidade de estruturas tecnológicas mais flexíveis, integradas e inteligentes, capazes de sustentar processos de inovação em ambientes industriais e educacionais.

Os capítulos “Revisão Integrativa entre Agentes Virtuais e Ambientes Imersivos Baseados em Vídeos 360°” e “Aplicando Business Intelligence no Contexto de Sistemas de Serviços Autônomos” reforçam o avanço de soluções orientadas por dados, interação e inteligência computacional, evidenciando aplicações que vão da mediação em experiências imersivas ao monitoramento e à análise de sistemas autônomos.

Na mesma direção, “Desenvolvimento de um Sistema de Controle Remoto para um Robô Seguidor de Linha” e “Implementação de um Sistema de Reconhecimento de Alfabeto em Libras Baseado em Landmarks e Redes Neurais Artificiais” apresentam aplicações de automação, visão computacional e redes neurais voltadas tanto à eficiência operacional quanto à ampliação da acessibilidade e da inclusão tecnológica.

Os capítulos “Diretrizes para a Criação e Desenvolvimento de Conteúdos com Vídeos 360°: estudo de caso no turismo virtual” e “Ambientes Virtuais como ferramentas de apoio à aprendizagem:

Museu Virtual da Independência da Bahia e Museu Virtual de Tecnologias Imersivas” destacam o potencial dos ambientes imersivos para apoiar práticas educativas, experiências turísticas e ações de valorização histórica e cultural.

Por fim, “Acessibilidade ao patrimônio cultural: framework de desenvolvimento de tecnologia assistiva para inclusão de deficientes visuais à percepção de acervos artísticos” e “Desafios e Oportunidades para Materiais Aplicados à Manufatura Aditiva” encerram a coletânea, reafirmando o compromisso desta obra com a inclusão, a preservação do patrimônio e o avanço da manufatura avançada, articulando impacto social e desenvolvimento tecnológico.

Ao reunir essas contribuições, esta coletânea reafirma o papel do INCITE Indústria 4.0 como espaço de articulação entre pesquisa, formação e inovação, fortalecendo diálogos entre universidade, setor produtivo e sociedade.

Convidamos leitoras e leitores a percorrer estas páginas, nas quais encontrarão reflexões, métodos e experiências capazes de inspirar novas conexões e novos caminhos para a transformação.

*Dra. Ingrid Winkler*

Universidade SENAI CIMATEC  
Coordenadora do INCITE Indústria 4.0

# PREFÁCIO

A Indústria 4.0 é, antes de tudo, uma agenda de competências. Mais do que um conjunto de tecnologias emergentes, ela representa a capacidade de transformar conhecimento científico em ferramentas, métodos e soluções que impactem produtividade, qualidade, segurança, confiabilidade e sustentabilidade. Em um cenário industrial cada vez mais dinâmico, não basta ter acesso a tecnologias: é preciso integrá-las de forma inteligente aos processos, às pessoas e às decisões, guiados por métodos e evidências.

É com essa visão, compartilhada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) e pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação da Bahia (SECTI), que apresentamos a coletânea **Competências do Amanhã: Pesquisa e prática com tecnologias imersivas, aditivas e de fronteira na Indústria 4.0**. Esta obra consolida as entregas e os aprendizados dos três primeiros anos do programa INCITE INDÚSTRIA 4.0, no ciclo 2023-2025, financiado pelo Governo da Bahia, por meio da Fapesb.

Este livro nasce de uma premissa prática e de um desafio central para nossos pesquisadores: para que a transformação industrial avance, a pesquisa precisa ser útil, no sentido técnico do termo. Ser útil significa gerar conhecimento aplicável, replicável e validável; significa entregar métodos, protocolos, instrumentos e evidências que reduzam incertezas na adoção de novas soluções; e significa apoiar o setor produtivo a tomar decisões melhores, com menos risco e maior previsibilidade. Assim, esta coletânea foi concebida como um instrumento direto de transferência de conhecimento e tecnologia, um repositório organizado de resultados, abordagens e aprendizados que podem ser apropriados por empresas, profissionais e gestores

de inovação, aproximando laboratório e operação em todos os territórios de identidade da Bahia.

Quando falamos de pesquisa aplicada, enfrentamos um dos maiores desafios da ciência brasileira, que é transformar a produção científica em Inovação. Isso não significa negligenciar o fomento à pesquisa básica, pois estamos contemplando as duas faces da mesma moeda. Não se chega a um processo, produto ou serviço novo sem conhecimento científico! A formação de redes de pesquisa financiadas pelo poder público, como nos editais INCITE I e INCITE II da Fapesb, que compõem o maior investimento da história da Fundação, é um movimento que fortalece a base científica do estado e ilumina o caminho da conversão de conhecimento em impacto real.

O INCITE Indústria 4.0 demonstra que esse caminho começou a ser trilhado. Com os resultados aqui apresentados, podemos afirmar que avançamos da excelência acadêmica para a geração de resultados concretos, com a ampliação dos investimentos e fortalecimento da articulação entre universidades, setor produtivo (indústria, cooperativas e associações) e políticas públicas. Esse avanço permite que o conhecimento produzido se converta em desenvolvimento sustentável e em melhoria da vida do povo baiano, um processo já em curso.

Estruturado como rede, o projeto reconhece que desafios industriais raramente se resolvem em uma única instituição ou disciplina. A rede integrada reúne o SENAI CIMATEC, a Universidade Federal da Bahia (UFBA), a Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), o Instituto Federal da Bahia (IFBA) – Campus Vitória da Conquista e a Universidade Federal do Paraná (UFPR), envolvendo mais de 60 pesquisadores e estudantes. Essa composição amplia a capacidade de execução, diversidade de perspectivas e velocidade na geração de resultados, combinando excelência acadêmica, pesquisa aplicada, formação de recursos humanos e diferentes realidades

de implementação, elementos essenciais para transformar tecnologias emergentes em prática industrial adotável.

O foco do projeto em tecnologias imersivas, aditivas e de fronteira, reflete áreas com alto potencial de impacto industrial, desde que sua adoção seja guiada por critérios claros e infraestrutura adequada. Tecnologias imersivas apoiam treinamentos seguros, simulações de cenários críticos, redução de erros e padronização de procedimentos. Tecnologias aditivas viabilizam prototipagem rápida, manutenção, customização e maior flexibilidade produtiva. Tecnologias de fronteira ampliam possibilidades de sensoriamento, rastreabilidade, inteligência e conectividade, exigindo rigor para separar novidade de valor.

Para enfrentar o desafio da maturação tecnológica, o programa estruturou uma rede integrada de laboratórios distribuídos, combinando núcleos de capacitação nas instituições participantes com um núcleo central dotado de recursos avançados. Essa arquitetura permite tanto formação e experimentação ampla quanto validação em nível de ponta.

Nos diferentes capítulos, o leitor, que ao se engajar também se torna agente de transformação, encontrará abordagens alinhadas a estratégias contemporâneas de pesquisa aplicada e formação orientada a problemas, fortalecendo simultaneamente rigor e aplicabilidade. Isso se reflete tanto na concepção de soluções quanto na forma de avaliá-las, com atenção a métricas, desenho experimental, reprodutibilidade e aderência ao contexto real.

Um aspecto central desta obra é o equilíbrio entre diversidade e unidade. Os capítulos abordam diferentes setores, métodos e problemas, como esperado em um portfólio robusto de pesquisa aplicada. Ao mesmo tempo, compartilham um fio condutor: formar e consolidar competências para implementar a Indústria 4.0 com base em evidências. Isso significa não apenas desenvolver tecnologias,

mas medir resultados, estabelecer parâmetros e construir rotas de decisão, tratando a inovação como processo técnico completo, da prova de conceito à aplicabilidade industrial.

Embora relate os três primeiros anos do programa, este livro não encerra sua trajetória. O INCITE INDÚSTRIA 4.0 segue ativo e continuará gerando novos resultados, que serão divulgados e disponibilizados à sociedade. Esta obra marca, portanto, um primeiro ciclo consolidado de evidências, métodos e aplicações, que servirá de referência para as próximas etapas e publicações, ampliando progressivamente o repertório de soluções transferíveis.

Convidamos o leitor a usar este livro como ferramenta de ação. Profissionais do setor produtivo podem priorizar capítulos focados em implementação, validação e transferência de tecnologia. Quem busca fundamentos, encontrará métodos replicáveis que orientam avaliações e aumentam a qualidade dos resultados. Estudantes e profissionais em formação verão aqui uma mensagem clara: as competências do amanhã vão além do domínio técnico. Exigem a capacidade de integrar tecnologia, contexto e métricas com rigor e responsabilidade.

Ao apoiar o INCITE INDÚSTRIA 4.0, o Governo da Bahia, por meio da Fapesb e da SECTI, reafirma sua diretriz essencial: investir em CT&I gera mais valor quando o conhecimento se transforma em capacidade instalada, pessoas qualificadas, redes consolidadas, infraestrutura ativa e soluções capazes de responder a desafios reais. Este livro é expressão concreta dessa diretriz. Registra entregas e evidencia o caminho de ampliar escala, aprofundar validação, fortalecer transferência e consolidar rotas de inovação que mantenham a indústria competitiva e preparada para novas transições tecnológicas.

Agradecemos às instituições integrantes da rede – SENAI CIMATEC, UFBA, UESC, IFBA (Campus Vitória da Conquista) e UFPR – e às equipes de pesquisadores, técnicos, estudantes, colaboradores,

autores e organizadores desta coletânea. O trabalho aqui reunido demonstra que, com articulação, governança e foco em resultados, a pesquisa aplicada avança com consistência e utilidade para a sociedade e para o setor produtivo.

Que **Competências do Amanhã** seja lido como referência e utilizado como ferramenta para decisões, inspirações, aplicações e formação. Mais que o registro de um ciclo (2023-2025), esta obra estabelece bases estruturantes para a transferência de conhecimento e para o avanço industrial sustentado por ciência, método e impacto.

*Marcus de Almeida Gomes*

Secretário de Ciência, Tecnologia  
e Inovação do Estado da Bahia

*Handerson Jorge Dourado Leite*

Diretor-Geral da Fapesb

## SUMÁRIO

# 1

*Fábia Cunha Ferreira Santos*

*Fabiane de Jesus Paz*

*Ingrid Winkler*

*Rui Silva*

## **REALIDADE VIRTUAL NO TELETRABALHO COLABORATIVO:**

**APLICAÇÕES, OPORTUNIDADES  
E DESAFIOS – UMA REVISÃO DA LITERATURA**

## INTRODUÇÃO

Durante a pandemia de covid-19, o teletrabalho, também denominado trabalho remoto, mostrou-se uma solução essencial para a manutenção das operações organizacionais e como medida de segurança para prevenir a propagação do vírus (Giusino; Bowman; Toscano, 2021; Ho *et al.*, 2022). O teletrabalho é realizado fora das instalações do empregador, com apoio de tecnologias da informação e comunicação (TICs), como computadores e *smartphones*, podendo enfrentar obstáculos à colaboração entre equipes devido à ausência de encontros presenciais (World Health Organization, 2021; Baruch, 2000).

Para mitigar esses desafios, recomenda-se que as organizações incentivem o uso de TICs que facilitem a interação, promovam reuniões virtuais regulares e oportunidades de interação entre os trabalhadores (Allen; Golden; Shockley, 2015; Rocha; Amador, 2018), sendo necessário que os teletrabalhadores utilizem mídias e tecnologias para fomentar discussões e a resolução de problemas (Baruch, 2000).

A colaboração é fundamental para a promoção da inovação nas organizações e ocorre quando as equipes possuem facilidade de troca de informações e ideias, capacidade de planejamento e alocação de tarefas (Taylor *et al.*, 2021). No contexto remoto, a colaboração pode ser dificultada por fatores como distância geográfica, diferenças de tempo, culturais e linguísticas (Taylor *et al.*, 2021).

Durante a pandemia, as equipes remotas utilizaram principalmente ferramentas de bate-papo, áudio e videoconferência (Dominic *et al.*, 2020), que receberam críticas pela limitação em captar gestos e movimentos corporais, prejudicando a comunicação não verbal, além de dificultarem a percepção de pistas periféricas e a manipulação

de objetos, podendo gerar cansaço visual e restrição de mobilidade (Bleakley; Wade; Cowan, 2020; Taylor *et al.*, 2021).

Dessa forma, a consolidação do teletrabalho colaborativo pós-pandemia exige a superação de obstáculos relacionados à implementação de soluções tecnológicas que promovam o sentimento de pertencimento, minimizem a sensação de isolamento e possibilitem a colaboração em um mesmo ambiente (Dominic *et al.*, 2020; Tunk; Kumar, 2021).

Nesse contexto, a realidade virtual (RV), definida como um ambiente simulado com computação gráfica que cria uma interação realista, surge como alternativa tecnológica para o teletrabalho (Torro; Jalo; Pirkkalainen, 2021). Sua capacidade de oferecer experiências tridimensionais imersivas permite que equipes remotas se sintam mais conectadas, aprimorando a comunicação, o engajamento e o compartilhamento de conhecimento, impulsionando a inovação (Tunk; Kumar, 2021; McVeigh-Schultz; Isbister, 2021). A RV é também a base dos ambientes virtuais colaborativos, que facilitam comunicação multimodal, presença simultânea e pistas de atividade para uma copresença mais forte e colaboração síncrona (Benford *et al.*, 2001; Gamelin *et al.*, 2021).

Entretanto, apesar da atenção comercial recente, o potencial de uso organizacional da RV permanece pouco explorado na literatura (McVeigh-Schultz; Isbister, 2021). Os estudos sobre tecnologia aplicada à comunicação e coordenação em ambientes colaborativos concentram-se no uso de *groupwares* e em contextos assíncronos ou não síncronos (Kutlu *et al.*, 2021), sendo necessário ampliar pesquisas que enfatizem experiências síncronas baseadas em imersão em RV e interações em rede entre pessoas, tecnologias e espaços (Kutlu *et al.*, 2021).

Assim, identifica-se uma lacuna de conhecimento sobre como ambientes virtuais colaborativos podem ser utilizados no teletrabalho

para impulsionar comportamentos inovadores e apoiar processos criativos (Treacy, 2022). Diante disso, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão da literatura para investigar os meios de utilização, oportunidades e desafios da aplicação de tecnologias de RV ao teletrabalho colaborativo. O documento está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a metodologia, a Seção 3 os resultados e a Seção 4 as conclusões.

## METODOLOGIA

A revisão da literatura seguiu o protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Page *et al.*, 2021). As buscas foram realizadas nas bases Scopus e Web of Science, por serem bases multidisciplinares e de abrangência internacional.

Foram incluídos estudos do tipo *review*, artigos de pesquisa e *conference abstracts* publicados entre 2018 e 2023. A estratégia de busca considerou termos relacionados à realidade virtual, teletrabalho e colaboração, aplicados aos campos título, resumo e palavras-chave.

Os registros identificados foram submetidos a critérios de inclusão e exclusão. Foram excluídos estudos publicados em idiomas diferentes do português, inglês, espanhol e francês, trabalhos de áreas não compatíveis com o escopo do estudo e pesquisas sem relação direta com a integração entre teletrabalho, realidade virtual e colaboração entre equipes remotas.

Após a triagem e leitura dos resumos, 63 estudos foram pré-selecionados para leitura completa, resultando na seleção final de 16 trabalhos que compõem esta revisão.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### SUMÁRIO

**Quadro 1 - Lista de artigos selecionados nas bases científicas**

Koskela <i>et al.</i>	2018	Avatares e telepresença em RV
Mayer <i>et al.</i>	2020	Tecnologia da informação e liderança virtual
Bleakley <i>et al.</i>	2020	Design de colaboração remota em RV
Kelly	2020	Espaços imersivos e trabalho remoto
Dominic <i>et al.</i>	2020	Programação colaborativa em RV
Duhamel <i>et al.</i>	2021	Decisão colaborativa em ambientes virtuais
Taylor <i>et al.</i>	2021	Design colaborativo imersivo
Torro <i>et al.</i>	2021	RV como plataforma organizacional
Ho <i>et al.</i>	2022	Tecnologias imersivas e bem-estar
Olaosebikan <i>et al.</i>	2022	Suporte cognitivo e criativo em RV
Kilcullen <i>et al.</i>	2022	Ciência de equipes virtuais
Aufegger; Elliott-Deflo	2022	Produtividade em RV
Chen	2023	Escritórios no metaverso
Abramczuk <i>et al.</i>	2023	Colaboração em Horizon Workrooms
Bonfert <i>et al.</i>	2023	Reuniões de equipe em plataformas de RV
Uddin <i>et al.</i>	2023	Tendências e desafios do metaverso

*Fonte: elaborado pela autora com base nos dados da pesquisa.*

Estes trabalhos foram analisados, e nas subseções a seguir são apresentadas as relações, padrões, divergências e oportunidades de pesquisa identificados, com base nas questões norteadoras propostas.

Q1: Qual é o estado da arte em relação a aplicações emergentes de ambientes virtuais ao teletrabalho colaborativo?

O objetivo de Q1 foi identificar tecnologias de realidade virtual disponíveis no mercado, seus recursos técnicos para colaboração e características essenciais para apoiar o trabalho remoto colaborativo.

## DESCRIÇÃO DAS PLATAFORMAS DISPONÍVEIS NO MERCADO PARA COLABORAÇÃO REMOTA

A literatura indica que, em vez de tentar replicar o trabalho presencial, as organizações devem explorar o potencial das tecnologias de realidade virtual para promover experiências enriquecidas de colaboração remota (Bonfert *et al.*, 2023).

Diversas plataformas de realidade virtual disponíveis no mercado apoiam atividades colaborativas. Mozilla Hubs, VR Chat, AltspaceVR e Rec Room possibilitam encontros, criação e socialização em ambientes virtuais (Olaosebikan *et al.*, 2022; Bonfert *et al.*, 2023).

A plataforma Spatial oferece um ambiente virtual voltado à interação síncrona, exploração de dados e criação coletiva, dispondo de recursos como importação e compartilhamento de arquivos, quadro branco virtual, manipulação de objetos e criação de avatares realistas, considerados relevantes para contextos organizacionais (Olaosebikan *et al.*, 2022).

O Horizon Workrooms disponibiliza um espaço de escritório virtual para trabalho individual e colaboração entre equipes distribuídas geograficamente, combinando uso em *desktop* e telepresença em realidade virtual (Abramczuk *et al.*, 2023; Aufegger; Elliott-Deflo, 2022).

Chen (2023) destaca que o Mesh, da Microsoft, assim como o Horizon Workrooms, integra tecnologias de realidade virtual e aumentada

para experiências imersivas compartilhadas em ambientes de trabalho. Plataformas como Glue, Engage e MeetingVR oferecem recursos semelhantes, incluindo reuniões síncronas, comunicação por voz, compartilhamento de tela e quadros brancos virtuais (Olaosebikan *et al.*, 2022).

Além disso, a BadVR é voltada à visualização e análise imersiva de dados com apoio de aprendizado de máquina, enquanto a NVIDIA Omniverse permite colaboração remota integrada entre profissionais de diferentes áreas no desenvolvimento de produtos (Olaosebikan *et al.*, 2022; Chen, 2023).

Os achados evidenciam a diversidade de plataformas e recursos disponíveis, indicando que a escolha da solução mais adequada depende das necessidades e objetivos específicos de cada aplicação. Apesar das diferenças, as plataformas analisadas compartilham o foco na interação e colaboração em tempo real, com funcionalidades comuns como avatares, personalização de ambientes, comunicação por voz e realização de atividades colaborativas.

## ASPECTOS RELEVANTES PARA O ESTÍMULO À COLABORAÇÃO

A seguir, apresentam-se os principais aspectos que a literatura destaca como essenciais para plataformas de realidade virtual voltadas à colaboração no ambiente de trabalho.

### *Senso de presença, copresença e presença social*

A “presença”, entendida como a sensação de estar em determinado lugar, é um conceito essencial em tecnologias mediadas remotamente e amplamente utilizada como medida da experiência do usuário em aplicações de realidade virtual (Koskela *et al.*, 2018; Taylor *et al.*, 2021; Duhamel *et al.*, 2021; Bonfert *et al.*, 2023).

Em ambientes de realidade virtual, os usuários podem experimentar “copresença”, caracterizada pela sensação de estar com outras pessoas em interação, percebendo e sendo percebidos pelos demais membros do grupo, bem como “presença social”, associada à sensação de intimidade e relevância da conexão interpessoal (Koskela *et al.*, 2018; Dominic *et al.*, 2020; Bonfert *et al.*, 2023).

A presença social facilita pistas sociais típicas das interações presenciais, como contato visual e atenção compartilhada, favorecendo a comunicação e a colaboração (Bleakley; Wade; Cowan, 2020; Bonfert *et al.*, 2023). Entretanto, seu nível pode variar de acordo com o tipo de aplicação, o design dos ambientes e dos avatares, bem como a natureza da atividade, o nível de interação e o *feedback* oferecido, fatores associados à confiança e à percepção de utilidade do trabalho em equipe (Bleakley; Wade; Cowan, 2020; Aufegger; Elliott-Deflo, 2022; Bonfert *et al.*, 2023).

### ***A importância da comunicação para a colaboração***

A literatura indica que a comunicação é um elemento central para a colaboração em ambientes virtuais, sendo responsável pela coesão das equipes e pela troca de informações entre membros e lideranças (Taylor *et al.*, 2021; Duhamel *et al.*, 2021). Sua eficácia depende da adequação entre os recursos de mídia disponíveis e os requisitos das tarefas, sendo relevante que as plataformas ofereçam múltiplas formas de comunicação e compartilhamento (Taylor *et al.*, 2021).

Estudos apontam que a riqueza das mídias está relacionada à capacidade de transmitir múltiplas informações simultaneamente, possibilitar retorno rápido, foco pessoal e uso de linguagem natural, devendo ainda considerar os processos e a cultura organizacional (Mayer; Mutze-Niewohner; Nitsch, 2020; Duhamel *et al.*, 2021; Kilcullen; Feitosa; Salas, 2022).

Os canais de comunicação podem ser assíncronos, como e-mail e transferência de arquivos, ou síncronos, como bate-papo e videoconferência, e a combinação dessas modalidades contribui para reduzir a distância virtual e apoiar colaborações remotas mais eficazes, especialmente em tarefas complexas (Mayer; Mutze-Niewohner; Nitsch, 2020; Taylor *et al.*, 2021).

### *Funcionalidades das plataformas, design, características da tarefa e da organização*

Kelly (2020) identificou que parte dos trabalhadores em tele-trabalho percebe a tecnologia imersiva aplicada a espaços de trabalho como um fator de incentivo à adoção permanente deste modelo. O estudo ressalta que, para a estruturação desses ambientes, devem ser considerados elementos relacionados ao design do espaço, às atividades a serem realizadas e aos artefatos tecnológicos utilizados.

Para a realização de atividades colaborativas em plataformas de realidade virtual, é fundamental a existência de um ambiente de trabalho compartilhado que favoreça a confiança entre os participantes e nas informações visuais, apoiado por elementos comuns de referência, como quadros ou superfícies colaborativas (Bleakley; Wade; Cowan, 2020).

Q2: Quais as potencialidades e limitações do uso de plataformas de realidade virtual para estímulo à colaboração com vistas à inovação?

Em Q2 buscou-se compreender, a partir da literatura, as potencialidades e limitações da colaboração remota em realidade virtual, cujos resultados são detalhados nas seções a seguir.

### *Potencialidades da colaboração remota em realidade virtual*

A realidade virtual tem sido apontada como uma tecnologia promissora para transformar a forma como o trabalho é realizado nas organizações. Experiências anteriores baseadas em ambientes virtuais acessados por *desktop*, entretanto, não obtiveram êxito em atrair participação e engajamento dos usuários (Torro; Jalo; Pirkkalainen, 2021).

Os avanços recentes da realidade virtual possibilitam ambientes sensoriais imersivos com visualização interativa em três dimensões, proporcionando experiências mais envolventes e maior engajamento dos colaboradores em suas atividades (Torro; Jalo; Pirkkalainen, 2021; Taylor *et al.*, 2021). Esses avanços são viabilizados por dispositivos como *head-mounted displays* e rastreadores de posição, que favorecem a sensação de colocalização e a interação natural entre usuários e objetos virtuais (Bleakley; Wade; Cowan, 2020; Aufegger; Elliott-Deflo, 2022).

Aplicações recentes de realidade virtual para o trabalho remoto têm potencial para aprimorar a colaboração ao oferecer experiências especializadas e incorporadas, permitindo a manipulação simultânea de representações compartilhadas de dados e tornando visíveis as ações dos participantes, o que pode estimular interações criativas (Olaosebikan *et al.*, 2022).

As interações baseadas em gestos e manipulações espaciais tornam a experiência mais intuitiva e imersiva, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades práticas e sociais em contextos colaborativos (Torro; Jalo; Pirkkalainen, 2021). Plataformas capazes de responder realisticamente às ações dos usuários favorecem interações mais consistentes, ampliando os benefícios da realidade virtual para além do treinamento técnico, incluindo o desenvolvimento de habilidades sociais (Torro; Jalo; Pirkkalainen, 2021).

Outro aspecto relevante refere-se ao compartilhamento de espaços de trabalho virtuais, que contribuem para maior alinhamento da equipe quanto ao conteúdo, direção e progresso das atividades, além de possibilitar interações com produtos e serviços de forma mais dinâmica do que em apresentações tradicionais (Aufegger; Elliott-Deflo, 2022; Chen, 2023). Estudos indicam ainda que reuniões em realidade virtual podem se assemelhar mais às reuniões presenciais em termos de dinâmica de grupo e sensação de copresença, sendo particularmente adequadas para atividades que exigem maior consciência espacial e colaboração (Bonfert *et al.*, 2023).

Por fim, aplicações em desenvolvimento demonstram potencial para gerenciar e enriquecer fluxos de trabalho, ao se posicionarem como plataformas integradas a outros sistemas de informação e tecnologias emergentes (Torro; Jalo; Pirkkalainen, 2021).

### *Limitações da colaboração remota em realidade virtual*

Apesar das potencialidades, a literatura aponta limitações relacionadas à facilidade de uso e às restrições de hardware das tecnologias de realidade virtual. A facilidade de uso está associada à curva de aprendizado, influenciada pelo design de interface e pela prontidão tecnológica dos usuários, sendo apontada como um desafio recorrente em diversas plataformas (Ho *et al.*, 2022; Olaosebikan *et al.*, 2022).

As limitações de hardware referem-se às restrições físicas e tecnológicas presentes principalmente nos ambientes domésticos, que nem sempre dispõem da infraestrutura adequada para o uso eficiente dessas tecnologias, influenciando o engajamento e a organização do trabalho remoto (Ho *et al.*, 2022).

Adicionalmente, limitações de design das plataformas podem comprometer a colaboração e a comunicação em diferentes contextos. A representação dos usuários por meio de avatares ainda apresenta

desafios quanto à identificação de papéis e à expressão emocional, podendo impactar estados afetivos e comportamentos empáticos relevantes para a colaboração (Bleakley; Wade; Cowan, 2020).

## CONCLUSÃO

A colaboração remota em RV oferece um potencial significativo para aumentar a produtividade e facilitar a comunicação entre equipes, criando um ambiente dinâmico que incentiva a criatividade e inovação. As tecnologias de RV podem enriquecer a experiência dos colaboradores, aprimorando habilidades práticas e sociais, ampliando o aprendizado e a interação entre equipes.

No entanto, persistem desafios técnicos, como a usabilidade e limitações de hardware, além de preocupações com segurança e uma curva de aprendizado que pode dificultar a integração. A pesquisa em RV e colaboração remota exige uma abordagem multidisciplinar para otimizar a experiência do usuário e fortalecer a interação social, impulsionando o avanço dessas ferramentas no ambiente organizacional. Investimentos em treinamento, suporte técnico e plataformas que priorizem usabilidade e segurança são fundamentais, assim como futuras pesquisas que aprimorem a experiência colaborativa na prática organizacional e guiem escolhas gerenciais na aquisição de plataformas de RV.

## REFERÊNCIAS

ABRAMCZUK, K. *et al.* Meet me in VR! Can VR space help remote teams connect: a seven-week study with Horizon Workrooms. **International Journal of Human-Computer Studies**, [s. l.], v. 179, p. 103104, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103104>. Acesso em: 28 ago. 2023.

## SUMÁRIO

ALLEN, T. D.; GOLDEN, T. D.; SHOCKLEY, K. M. How effective is telecommuting? Assessing the status of our scientific findings. **Psychological Science in the Public Interest**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 40-68, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1529100615593273>. Acesso em: 28 ago. 2023.

AUFEGGER, L.; ELLIOTT-DEFLO, N. Virtual reality and productivity in knowledge workers. **Frontiers in Virtual Reality**, [s. l.], v. 3, p. 890700, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.890700>. Acesso em: 28 ago. 2023.

BARUCH, Y. Teleworking: benefits and pitfalls as perceived by professionals and managers. **New Technology, Work and Employment**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 34-49, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1468-005x.00063>. Acesso em: 28 ago. 2023.

BENFORD, S. *et al.* Collaborative virtual environments. **Communications of the ACM**, [s. l.], v. 44, n. 7, p. 79-85, 2001.

BLEAKLEY, A.; WADE, V.; COWAN, B. R. Finally a case for collaborative VR? The need to design for remote multi-party conversations. *In*: PROCEEDINGS OF THE 2ND CONFERENCE ON CONVERSATIONAL USER INTERFACES, 2020. **Anais [...]**. [S. l.]: ACM, 2020. p. 1-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3405755.3406144>. Acesso em: 28 ago. 2023.

BONFERT, M. *et al.* Seeing the faces is so important: experiences from online team meetings on commercial virtual reality platforms. **Frontiers in Virtual Reality**, [s. l.], v. 3, p. 945791, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.06190>. Acesso em: 28 ago. 2023.

CHEN, Z. Metaverse office: exploring future teleworking model. **Kybernetes**, [s. l.], 2023.

DOMINIC, J.; TUBRE, B.; RITTER, C.; HOUSER, J. Remote pair programming in virtual reality. *In*: 2020 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE MAINTENANCE AND EVOLUTION (ICSME), 2020. **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2020. p. 406-417.

DUHAMEL, R. *et al.* Conception centrée utilisateur d'un environnement virtual pour la prise de décision collaborative: état de l'art pluridisciplinaire et analyse de des besoins. *In*: PROCEEDINGS OF THE 17TH ERGONOMIE ET INFORMATIQUE AVANCÉE CONFERENCE, 2021. **Anais [...]**. [S. l.]: ACM, 2021. p. 1-12. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3486812.3486834>. Acesso em: 9 mar. 2022.

GAMELIN, G. *et al.* Point-cloud avatars to improve spatial communication in immersive collaborative virtual environments. **Personal and Ubiquitous Computing**, [s. l.], v. 25, p. 467-484, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01431-1>. Acesso em: 28 ago. 2023.

GIUSINO, D.; BOWMAN, N.; TOSCANO, F. Work from home (WFH) during COVID-19: is virtual reality (VR) a new solution to new problems? **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 63, n. 10, p. e755, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002339>. Acesso em: 28 ago. 2023.

HO, B. Q. *et al.* Human augmentation technologies for employee well-being: a research and development agenda. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 1195, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph19031195>. Acesso em: 2 abr. 2023.

KELLY, J. A. Work-in-progress: the sudden requirement to work from home due to COVID-19 pandemic restrictions: attitudes and changes in perceived value of physical and immersive workspaces. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IMMERSIVE LEARNING RESEARCH NETWORK (ILRN), 6., 2020, San Luis Obispo. **Proceedings** [...] San Luis Obispo: IEEE, 2020. p. 385-388. Disponível em: <https://doi.org/10.23919/ILRN478972020.9155210>. Acesso em: 2 abr. 2023.

KILCULLEN, M.; FEITOSA, J.; SALAS, E. Insights from the virtual team science: rapid deployment during COVID-19. **Human Factors**, [s. l.], v. 64, n. 8, p. 1429-1440, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0018720821991678>. Acesso em: 23 ago. 2023.

KOSKELA, T. *et al.* Avatarex: teleexistence system based on virtual avatars. *In*: AUGMENTED HUMAN INTERNATIONAL CONFERENCE, 9., 2018. **Proceedings** [...] [S. l.: s. n.], 2018. p. 1-8. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322841861\\_AVATAREX\\_Teleistence\\_System\\_based\\_on\\_Virtual\\_Avatars](https://www.researchgate.net/publication/322841861_AVATAREX_Teleistence_System_based_on_Virtual_Avatars). Acesso em: 28 ago. 2023.

KUTLU, B. *et al.* A meta-analysis of studies on groupware for collaborative work environments. **Proceedings MDPI**, [s. l.], p. 9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/proceedings2021074009>. Acesso em: 28 ago. 2023.

MAYER, C.; MÜTZE-NIEWÖHNER, S.; NITSCH, V. Empirical classification of advanced information technology towards their support of leadership behaviors in virtual project management settings. *In*: 2020 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT (IEEM), 2020. **Anais** [...]. [S. l.]: IEEE, 2020. p. 275-279. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IEEM450572020.9309948>. Acesso em: 28 ago. 2023.

MCVEIGH-SCHULTZ, J.; ISBISTER, K. A "beyond being there" for VR meetings: envisioning the future of remote work. **Human-Computer Interaction**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 433-453, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07370024.2021.1994860>. Acesso em: 28 ago. 2023.

## SUMÁRIO

## SUMÁRIO

- OLAOSEBIKAN, M. *et al.* Identifying cognitive and creative support needs for remote scientific collaboration using VR: practices, affordances, and design implications. **Creativity and Cognition**, [s. l.], p. 97-110, 2022. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3527927.3532797>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Systematic Reviews**, [s. l.], v. 10, n. 89, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Acesso em: 2 abr. 2023.
- ROCHA, C. T. M.; AMADOR, F. S. El teletrabajo: conceptualización y cuestiones para el análisis. **Cadernos EBAPE.BR**, [s. l.], v. 16, p. 152-162, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1679-395154516>. Acesso em: 2 abr. 2023.
- TAYLOR, S. *et al.* Immersive collaborative VR application design: a case study of agile virtual design over distance. **International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 14-27, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/ijgcms.291538>. Acesso em: 2 abr. 2023.
- TORRO, O.; JALO, H.; PIKKALAINEN, H. Six reasons why virtual reality is a game-changing computing and communication platform for organizations. **Communications of the ACM**, [s. l.], v. 64, n. 10, p. 48-55, 2021. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3440868>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- TUNK, N.; KUMAR, A. A. Work from home: a new virtual reality. **Current Psychology**, [s. l.], p. 1-13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02660-0>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- UDDIN, M. *et al.* Unveiling the metaverse: exploring emerging trends, multifaceted perspectives, and future challenges. **IEEE Access**, [s. l.], v. 11, p. 87087-87103, 2023.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Healthy and safe telework**: technical brief. Geneva: WHO, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240040977>. Acesso em: 2 ago. 2023.

# 2

*Luiz Gutemberg Santiago Dias Junior  
Cristiano Vasconcellos Ferreira  
Ester Carvalho Soares Machado  
Yasmim Thasla Santos Ferreira  
Ingrid Winkler*

**REALIDADE VIRTUAL APLICADA  
AO DESENVOLVIMENTO  
DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA  
DE PETRÓLEO E GÁS:  
UMA BREVE REVISÃO**

## INTRODUÇÃO

As empresas desse setor estão buscando, de forma mais ativa, aplicações inovadoras que as tornem mais eficientes ao racionalizar a produção, reduzir custos e melhorar a segurança das operações, entre outros aspectos (Sincar *et al.*, 2021). Além disso, a indústria de petróleo e gás está se tornando mais competitiva e imprevisível devido à iminente escassez de combustíveis fósseis. Portanto, a alta administração dessas empresas vê a digitalização como forma de se proteger contra choques de mercado, mantendo a lucratividade com custos mais baixos e criando uma vantagem competitiva ao longo de toda a fase de recuperação da produção (Sincar *et al.*, 2021).

O uso de inteligência artificial (IA) e de tecnologias baseadas em *machine learning*, juntamente com a implementação de tecnologias que estão evoluindo rapidamente e sendo adotadas em toda a cadeia de valor, é como alguns líderes do setor (Sincar *et al.*, 2021) veem o futuro se desenrolando. Embora a computação em nuvem ofereça inúmeros benefícios e suas ferramentas já sejam utilizadas, ela ainda não conseguiu permear totalmente o setor de petróleo e gás em razão de diversas limitações.

O setor de petróleo e gás depende fortemente da captura, agregação e armazenamento de dados, e a segurança e a conformidade desses dados são preocupações essenciais ao se considerar o uso de computação em nuvem e capacidades relacionadas (Lawan; Oduoza; Buckley, 2020). Um exemplo é a enorme quantidade de dados sísmicos que deve ser compartilhada e o significativo investimento em infraestrutura de tecnologia da informação que já constitui um legado das atividades de exploração e produção de petróleo e gás. Contudo, para adotar tecnologias mais sofisticadas, são necessários maiores investimentos em coleta e armazenamento de dados.

Além dos desafios de coleta e armazenamento de dados durante as fases de exploração e produção de petróleo e gás, existe também a necessidade de manter as estruturas de desenvolvimento e transporte. Isso exige sistemas de controle confiáveis, precisos, robustos e eficientes para detectar vazamentos, fissuras ou rajadas nos dutos e tubulações amplamente utilizados por essa indústria (Priyanka; Thangavel; Gao, 2021). Nesse contexto, pesquisas estão sendo conduzidas sobre os tipos de equipamentos capazes de atender às diferentes condições de operação e especificações técnicas de maneira robusta e tecnologicamente adequada.

Existem tecnologias utilizadas para o controle remoto de processos, como o monitoramento e o controle remoto da pressão em sistemas de dutos, conhecido como sistema de *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) (Priyanka; Thangavel; Gao, 2021), utilizado, por exemplo, para monitorar a pressão. Nesse ambiente, tecnologias de ponta como a Realidade Virtual (RV) tornaram-se essenciais para o desenvolvimento de soluções para o setor de petróleo e gás. O foco deste artigo é o uso de RV no contexto do desenvolvimento de produtos para o setor de petróleo e gás, o que é abordado nessa breve revisão da literatura produzida nos últimos dez anos.

## DESENVOLVIMENTO

A pesquisa buscou literatura relacionada ao tema na base de dados da plataforma ScienceDirect. Ela então foi refinada considerando artigos de revisão e artigos de pesquisa publicados nos últimos dez anos (2012 a 2022), com acesso público ao texto completo. Esse refinamento resultou na seleção de artigos que foram escolhidos com base na análise dos títulos e resumos, a fim de identificar aqueles com maior relevância e conformidade com o tema.

O levantamento bibliográfico consistiu em examinar os trabalhos existentes e avaliar a contribuição de cada um para o tema proposto, utilizando a diretriz PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) (Haddaway *et al.*, 2022). Os artigos utilizados datam de 2015 a 2022, e muitos publicados em periódicos com uma conexão tênue com a indústria de petróleo e gás.

O curto período, inferior a uma década, decorre do rápido desenvolvimento dos dispositivos de realidade virtual a partir de 2016. Segundo a literatura, 2016 foi um ponto de inflexão no avanço tecnológico, com o lançamento público dos primeiros óculos de RV tecnologicamente avançados (Le Mouélic *et al.*, 2018); além disso, 2016 apresentou o aumento mais significativo na pesquisa global em realidade virtual (Zeng *et al.*, 2018). Acadêmicos e profissionais concordam que os equipamentos lançados em 2016 representaram um “grande avanço” para as aplicações de realidade virtual (Khan, 2016; Lai, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma pesquisa publicada no ano de 2022 na revista científica *Heliyon* (Bolodeoku, 2022) apresentou dados que ilustram a influência da utilidade percebida da tecnologia por trabalhadores de uma empresa de petróleo e gás, ao analisar as implicações da adoção de tecnologia no cenário desse setor. De acordo com o estudo, a utilidade percebida da tecnologia exerce um impacto direto e considerável no desempenho dos funcionários. Os resultados indicam que os colaboradores têm maior probabilidade de se comprometer com o trabalho e com a organização quando valorizam a tecnologia adotada pela empresa. Além disso, quanto maior a percepção do valor da tecnologia escolhida pela empresa, mais satisfeitos os trabalhadores tendem a ficar com o progresso da organização.

Por outro lado, um dos obstáculos para o avanço e a aceitação de tecnologias de ponta, como a realidade virtual, é a necessidade de mudanças fundamentais na cultura industrial e a remoção de barreiras que vão além dos investimentos financeiros. Barreiras como a cultura corporativa representam entraves reais que devem ser superados para que novas tecnologias possam ser introduzidas. Isso é evidenciado pela pesquisa publicada na revista *Technovation* (Roberts *et al.*, 2021), que realizou um estudo de caso no setor de petróleo e gás (O&G) para avaliar o efeito de variáveis psicológicas na adoção da tecnologia no setor. Segundo a pesquisa, o medo do fracasso foi um dos motivos para a não implementação da tecnologia.

O papel do engajamento do capital humano na adoção de novas tecnologias tem se mostrado um aspecto vital e preponderante. Não é surpreendente que economias globais tenham priorizado o componente humano como base para transformações significativas e tenham, nas últimas décadas, realizado investimentos substanciais em capital humano (Medvedev, 2015).

Com as tecnologias de fronteira, particularmente o uso de RV no setor de petróleo e gás (O&G), e considerando os desafios relacionados às mudanças na percepção do capital humano, essa relevância torna-se ainda mais essencial. Novas tecnologias e inovações transformam fundamentalmente mercados e setores inteiros (Medvedev, 2015). Isso exige novos comportamentos de mercado, como novas técnicas para realizar projetos de grande escala e de longo prazo que envolvem ampla participação coletiva. Há diversas oportunidades para implementar tecnologias de ponta no setor de petróleo e gás, especialmente o uso de realidade virtual para avaliar as condições de reservatórios. Modelos de simulação de reservatórios podem ser implementados em razão do baixo custo de simulação computacional associado à simulação de reservatórios em múltiplas escalas e fases (Shahkarami; Mohaghegh, 2020). O sucesso de modelos desenvolvidos e validados em um ambiente

virtual, capazes de reproduzir resultados em frações de tempo e com custos computacionais extremamente baixos, beneficia outras áreas de operação no gerenciamento de reservatórios, como análise de sensibilidade, otimização da produção e avaliação de incertezas (Shahkarami; Mohaghegh, 2020).

Outro uso de tecnologia de ponta no setor de petróleo e gás é a aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNA) (Sincar *et al.*, 2021), um conjunto de algoritmos empregados no aprendizado de máquina de modelos de dados e que, neste caso, são precursores do uso de RV e Realidade Aumentada (RA). Algoritmos de *deep learning* utilizados no setor de petróleo e gás ajudam a processar grandes volumes de dados, o que é extremamente necessário para a adoção de RV. Entre as aplicações estão o reconhecimento de padrões sísmicos, diagnósticos de perfuração, melhoria da produtividade de poços de gás, identificação de litofácies de arenito, previsão e otimização de desempenho e a previsão das condições de dutos. O modelo pode calcular a porcentagem de areia no reservatório, reunindo todos esses dados em realidade virtual como uma ferramenta para a equipe de campo e para a criação de soluções de design (Sincar *et al.*, 2021).

Uma solução para que a indústria de petróleo e gás mitigue as incertezas e os riscos do uso de tecnologia nas operações é utilizar ainda mais tecnologia. Nesse caso, tecnologias habilitadoras, como o *Blockchain* (Andoni *et al.*, 2019), podem potencialmente ser utilizadas para comunicação inteligente entre dispositivos, transmissão ou armazenamento de dados, como aqueles necessários para o uso de RV. Além de fornecer uma transferência de dados segura, as redes inteligentes podem se beneficiar ainda mais da padronização de dados possibilitada pela tecnologia *blockchain*. Isso permitiria que a precisão e a validade das informações fossem utilizadas em provas de conceito no caso de protótipos virtuais viabilizados pela adoção de RV no desenvolvimento de produtos (Andoni *et al.*, 2019; Raboy *et al.*, 2020).

## SUMÁRIO

Outro exemplo de tecnologia de ponta na indústria de petróleo e gás é o uso de *Digital Twins (DT)* em diversos domínios, como análises numéricas para representar diferentes escalas e cenários, validação e manutenção de dados em indústrias de processo, como refinarias, além de aplicações em perfuração e transporte (Sincar *et al.*, 2023). Reservatórios de xisto, por exemplo, são altamente desafiadores de simular devido à complexidade dos sistemas não convencionais. No entanto, a modelagem de cenários complexos, como estudos de absorção de gás, torna-se viável com o auxílio da digitalização (Sincar *et al.*, 2023). Além disso, o desenvolvimento de produtos para o setor da indústria do petróleo, que passam pelas etapas de exploração, avaliação, produção, desempenho e substituição, deve considerar os riscos subjacentes de *HSE* (saúde, segurança e meio ambiente) (Medvedev, 2015). Por isso, indústria está recorrendo à tecnologia de *digital twins* para otimizar seus processos de exploração com o objetivo de melhorar a produtividade por meio do aumento da eficiência, redução dos riscos de *HSE*, diminuição dos custos operacionais e de capital, aumento das receitas e aprimoramento da conformidade regulatória (Sincar *et al.*, 2023).

Embora o termo *DT* seja novo para o setor de perfuração, a indústria de petróleo já utiliza esse conceito há mais de duas décadas. O uso de *DT* em operações de perfuração em tempo real é ainda mais ampliado pela instalação de módulos de diagnóstico que identificam automaticamente ocorrências ou problemas nas operações, permitindo que potenciais riscos sejam evitados ou tratados o mais cedo possível (Sincar *et al.*, 2023). Empregar um *DT* em uma operação de perfuração combina dados digitais e físicos com análises preditivas e sinais diagnósticos, aumentando a capacidade de planejamento das operações de perfuração e a precisão na tomada de decisão (Sincar *et al.*, 2023).

Na indústria de petróleo e gás, por exemplo, o *DT* é mais do que apenas um modelo tridimensional (entidade física, entidade virtual e sua conexão). Ele integra tecnologias modernas enquanto

## SUMÁRIO

considera diversos relacionamentos e empresas dentro de um determinado contexto (Sincar *et al.*, 2023). Durante décadas, profissionais do *upstream* trabalharam para adquirir dados de locais *offshore* a fim de analisar e desenvolver planos de negócios mais bem informados. Uma auditoria interna de uma organização industrial revelou que a equipe de *upstream* gastava aproximadamente 80% do seu tempo procurando e depois ajustando dados, principalmente porque esses dados estavam anteriormente armazenados fora de uma plataforma (Sincar *et al.*, 2023). Os colaboradores sempre precisaram adquirir volumes massivos de dados provenientes de diversas fontes, como planilhas de banco de dados, fluxos de dados e conhecimento implícito. Atualmente, sensores acoplados a equipamentos *on-site* ou *in-field* podem enviar 1.000 pontos de dados por minuto aos engenheiros, transmitindo uma quantidade enorme de informações para análise crítica (Sincar *et al.*, 2023).

Um exemplo prático é o da gigante do petróleo Saudi Aramco, que está implementando novas tecnologias como *Big Data Analytics*, *Industrial Internet of Things (IIoT)*, robótica e drones, inteligência artificial, computação em nuvem, impressão 3D e realidade aumentada/realidade virtual. Por meio de modelagem e simulações avançadas, a Aramco utiliza tecnologia RA/RV para aprimorar a preparação para emergências, procedimentos de reparo e instalações (Sincar *et al.*, 2023; Aramco, 2022).

## CONCLUSÃO

Dessa forma, esta breve análise conclui que o uso de realidade virtual e de outras tecnologias de ponta oferece diversas possibilidades de aplicação na indústria de petróleo e gás, apesar dos obstáculos que vão além dos investimentos de capital. O uso de RV no desenvolvimento de produtos para o setor petrolífero já

demonstrou seu potencial para redução de custos, mitigação de riscos, aumento da produtividade e eficiência, além de viabilidade econômica de longo prazo. O emprego da realidade virtual (RV) na indústria do petróleo já é uma realidade e deverá aumentar significativamente nas próximas décadas, possibilitando novas pesquisas, bem como a geração de informações essenciais para o setor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PRH271, ANP/FINEP, Centro de Competências em Soluções Integradas *Onshore* e SENAI/CIMATEC pelo apoio financeiro e incentivos à pesquisa, assim como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro. Ingrid Winkler é bolsista de desenvolvimento tecnológico do CNPq (Proc. 308783/2020-4).

## REFERÊNCIAS

- ANDONI, M. *et al.* Blockchain technology in the energy sector: a systematic review of challenges and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 100, p. 143-174, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>.
- ARAMCO. **Digitalization**. 2022. Disponível em: <https://www.aramco.com/en/creating-value/technology-development/in-house-developed-technologies/digitalization>. Acesso em: 2 jul. 2022.
- BOLODEOKU, P. B. *et al.* Perceived usefulness of technology and multiple salient outcomes: the improbable case of oil and gas workers. **Heliyon**, [s. l.], v. 8, n. 4, e09322, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09322>.

GEP. **The increasing popularity of digital twins in oil and gas**. 2022. Disponível em: <https://www.gep.com/blog/mind/the-increasing-popularity-of-digital-twins-in-oil-and-gas>. Acesso em: 2 jul. 2022.

HADDAWAY, N. R. *et al.* PRISMA 2020: an R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimized digital transparency and Open Synthesis. **Campbell Systematic Reviews**, [s. l.], v. 18, n. 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cl2.1230>.

KHAN, F. **Major HTC Vive VR “breakthrough” to be shown at CES 2016**. [s. l.]: Techradar, [2016?]. Disponível em: <https://www.techradar.com/news/wearables/major-htc-vive-breakthrough-to-be-unveiled-at-ces-2016-1311518>.

LAI, R. **HTC Vive to demo a “very big” breakthrough in VR at CES**. [s. l.]: Engadget, 2015. Disponível em: <https://www.engadget.com/2015-12-18-htc-vive-vr-big-breakthrough-ces.html>.

LAWAN, M. M.; ODUOZA, C. F.; BUCKLEY, K. Proposing a conceptual model for cloud computing adoption in upstream oil & gas sector. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 51, p. 953-959, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.134>.

LE MOUÉLIC, S. *et al.* Using virtual reality to investigate geological outcrops on planetary surfaces. *In*: EGU GENERAL ASSEMBLY, 20., 2018. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], abr. 2018.

MEDVEDEV, D. A new reality: Russia and global challenges. **Russian Journal of Economics**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 109-129, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ruje.2015.11.004>.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **The BMJ**, [s. l.], v. 372, n. 71, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.n7>.

PRIYANKA, E. B.; THANGAVEL, S.; GAO, X. Z. Review analysis on cloud computing based smart grid technology in the oil pipeline sensor network system. **Petroleum Research**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 77-90, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2020.10.001>.

RABOY, K. *et al.* A proof-of-concept field experiment on cooperative lane change maneuvers using a prototype connected automated vehicle testing platform. **Journal of Intelligent Transportation Systems**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 77-92, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15472450.2020.1775085>.

ROBERTS, R. *et al.* Psychological factors influencing technology adoption: a case study from the oil and gas industry. **Technovation**, [s. l.], v. 102, 102219, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102219>.

SHAHKARAMI, A.; MOHAGHEGH, S. Applications of smart proxies for subsurface modeling. **Petroleum Exploration and Development**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 400-412, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(20\)60057-X](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(20)60057-X).

SINCAR, A. *et al.* Application of machine learning and artificial intelligence in the oil and gas industry. **Petroleum Research**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 379-391, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009>.

SINCAR, A. *et al.* Digital twin in hydrocarbon industry. **Petroleum Research**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 270-278, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2022.04.001>.

WESTGATE, M. J. revtools: an R package to support article screening for evidence synthesis. **Research Synthesis Methods**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 606-614, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1101/262888>.

ZENG, L. *et al.* Landscapes and emerging trends of virtual reality in recent 30 Years: a bibliometric analysis. *In*: IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, 2018. **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, out. 2018.

## SUMÁRIO

# 3

*Augusto Vitor Bomfim Silva Lima  
Juliana Vinagre Lisboa  
Laisa Santos de Oliveira  
Rafael Vieira Miguez  
Felipe Leão da Silva Dias  
Ester Carvalho Soares Machado  
Yasmim Thasla Santos Ferreira  
Ingrid Winkler  
Thiago Barros Murari*

## **O PAPEL DA REALIDADE VIRTUAL NA MELHORIA DA ERGONOMIA E USABILIDADE DO CONDUTOR NO SETOR AUTOMOTIVO: UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA**

## INTRODUÇÃO

No ambiente cada vez mais complexo e tecnológico em que vivemos e trabalhamos, a busca pelo bem-estar humano e pela eficiência das atividades desempenhadas tornou-se crucial. É nesse contexto que a ergonomia surge como uma disciplina importante, centrada no estudo e na melhoria da interação entre o homem, as máquinas e o ambiente, com o objetivo de otimizar a adaptação mútua e promover condições de trabalho e de vida mais saudáveis e eficientes.

A comparação de dois modelos distintos de volante até a construção de uma linha de produção à aplicação de princípios ergonômicos pode ter um impacto significativo na saúde, no conforto e na eficiência dos envolvidos. A abordagem ergonômica em um veículo vai além do mero ajuste de assentos, volantes ou componentes eletrônicos. Ela engloba uma profunda compreensão das capacidades físicas, cognitivas e emocionais humanas, procurando conceber espaços, produtos e processos que se adaptem de forma natural e segura às dores e necessidades dos condutores.

Todos os automóveis precisam garantir um bom conforto aos usuários do produto. Quando se trata de veículos *off-road*, um ambiente ergonômico é extremamente necessário, pois este enfrenta diversas condições irregulares do terreno, podendo aumentar a fadiga e o desconforto dos ocupantes.

Projetar e fabricar um veículo desse ramo, e depois de diversos testes receber um *feedback* alegando que o condutor obteve dificuldades na operação, perda de controle, lesões e desconforto, mostra que os projetistas não podem garantir ergonomia para o usuário do produto. Desse modo, a produtora gastou mão de obra, material e dinheiro para montar o produto antes mesmo de ser lançado, por exemplo.

Além da ergonomia, a usabilidade também é um aspecto muito importante dentro da cabine do usuário em questão, pois ela garante um ambiente mais seguro, pelo fato de proporcionar uma interação simples e muito eficiente entre o piloto e outros componentes do veículo, como controles, dispositivos e informações. Em seguida, podemos relacionar os dois temas abordados, destacando que a maior parte dos componentes devem estar posicionados de forma que sejam fáceis a operação e o alcance, sem exigir um grande esforço para realizar a atividade na qual os ocupantes querem exercer, sem alegar desconforto ou desvio de atenção significativo.

Diante dessa situação, a realidade virtual pode auxiliar a engenharia da indústria automotiva, com um recorte sobre a ergonomia e usabilidade, a resolver problemas dentro do *cockpit*, numa breve análise das publicações dos últimos anos.

A realidade virtual é definida como “um ambiente digital gerado por computador que pode ser experimentado e interagido como se fosse real” (Jerard, 2015, p.18-19).

Dessa maneira, ela se torna uma forte aliada para evitar esse tipo de erro mencionado anteriormente, pois com ela será possível realizar uma montagem do carro e executar simulações com o objetivo de identificar falhas ou até mesmo notar pontos de melhoria no *cockpit* do piloto (Embrapii, 2021), além de aprimorar a análise do comportamento do motorista. Assim evitaria uma produção real do produto, garantiria segurança ao condutor e em tirar o projeto do papel, consequentemente reduzindo sobretudo custos.

Este trabalho apresenta uma pesquisa que descreve o conhecimento atual sobre como a realidade virtual pode auxiliar a engenharia da indústria automotiva a resolver problemas de ergonomia e usabilidade dentro do *cockpit*.

## DESENVOLVIMENTO

A pesquisa foi conduzida na base de dados da plataforma *Science Direct*, inicialmente abrangendo literatura relacionada ao tema. Em seguida, procedeu-se ao refinamento por meio da seleção de artigos de revisão e de pesquisa publicados nos últimos seis anos (2017-2023). Esse refinamento resultou nos artigos que foram escolhidos a partir da análise dos títulos e resumos, para encontrar aqueles com maior pertinência ao assunto.

O levantamento bibliográfico envolveu o exame dos trabalhos existentes e a avaliação da contribuição de cada um para o tema sugerido, a fim de realizar uma breve revisão, seguindo metodicamente um fluxo de trabalho comparável à diretriz do *PRISMA* (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*).

Após uma revisão meticulosa, percebemos que os artigos escolhidos para desenvolver essa breve revisão abrangem os anos de 2019 a 2023, como é possível perceber na Tabela 1, com sua grande maioria publicada na época em que a realidade virtual está bem acentuada e para muitos ainda é uma novidade. O curto período de tempo, menos de uma década, resultou em um rápido desenvolvimento de tecnologias, além de ter crescido a demanda pelas pesquisas globais de RV.

**Tabela 1 - Autores, publicações e anos de publicação**

<b>Autor</b>	<b>Publicação</b>	<b>Periódico</b>	<b>Ano</b>
<b>EMBRAPPI</b>	Inteligência Artificial vai prever falhas automotivas para evitar <i>recalls</i>	Realidade Virtual	<b>2021</b>
<b>Souza, R. S.</b>	Estudo ergonômico aplicado a um mini Baja	Ergonomia em Veículo Baja	<b>2019</b>
<b>SAE BRASIL</b>	Regulamento Baja SAE Brasil	Regulamento SAE Brasil	<b>2023</b>
<b>Mesquita Filho, M. A. N.</b>	Estudo da avaliação estrutural de um chassi utilizando o método de elementos finitos	Avaliação Estrutural	<b>2019</b>
<b>Camilo, C. C. C.</b>	Bancada ergonômica para veículos Baja SAE	Ergonomia em Veículo Baja	<b>2021</b>
<b>Ferreira, J. L. M.</b>	Avaliação ergonômica de um veículo Baja	Resultado da Ergonomia no Veículo Baja	<b>2021</b>
<b>Netto, A. V.</b>	Realidade Virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produtos	Realidade Virtual	<b>1998</b>

*Fonte: elaborado pelo autor (2023).*

Ademais, um dos métodos também usados como base para essa revisão são os veículos *off-roads*, como o Baja, que exige robustez de seus componentes para resistir a impactos, além de fornecer também uma boa ergonomia para que o usuário sinta-se confortável por longas horas em terrenos acidentados.

Dentre eles, os veículos Baja foram usados como parâmetro de análise por terem um protótipo de escala menor de um carro *off-road* convencional. Apesar disso, eles precisam atender aos mesmos requisitos básicos de ergonomia para diferentes tipos de usuários, pois precisam seguir o regulamento da SAE Brasil (SAE Brasil, 2023) e passar por algumas avaliações específicas de conforto (Souza *et al.*, 2019). Por esse motivo, usaremos este produto das Iniciativas Estudantis para encontrarmos uma harmonização mais ideal do ambiente para o piloto.

Encontrar o meio termo desses dois fatores é uma tarefa que exige atenção e cuidado. Por isso, utilizar a Inteligência Artificial

para uma visão mais ampla do posicionamento dos componentes veiculares tem sido uma proposta interessante para as fabricantes de automóveis. Assim, os gastos e o tempo são reduzidos, pois os testes são realizados virtualmente.

## CONCLUSÃO

A respeito da lacuna mencionada sobre a importância da garantia de ergonomia nos veículos, comparando com o nosso parâmetro de análise, o Baja, buscamos entender um problema que algumas equipes enfrentam nesse quesito. Notamos que o principal obstáculo encontra-se nas validações dentro de softwares de elementos finitos, além da complexidade na construção e interpretação.

Apesar de ter menos controles, os veículos Baja precisam também atender aos diferentes tipos de percentis corporais (Embrapii, 2021). Com isso, a realidade virtual ajudará os projetistas nessa missão, pois poderia colocar *dummies* com físicos distintos com a finalidade de validar essas análises.

Diante do que foi mencionado, entendemos que existe uma carência muito grande nas pesquisas sobre a realidade virtual dentro dos projetos de ergonomia e usabilidade no setor automotivo, mais precisamente nos *cockpits*.

O uso de realidade virtual nesse processo apresenta grande potencial para a detecção precoce de problemas de ergonomia e usabilidade. No entanto, é necessário maior esforço na integração eficaz dessas tecnologias desde o início do processo de desenvolvimento.

Apesar dessa lacuna, a experiência acumulada tanto com a realidade virtual quanto com o veículo Baja evidencia que a tecnologia pode ser de grande auxílio para apoiar decisões de projeto

na construção de um veículo e como ela afeta o conforto do motorista em seu espaço, permitindo que ele atenda a todos os requisitos de ergonomia e usabilidade, ao mesmo tempo em que reduz as variáveis de tempo e dinheiro.

Também observamos que a inteligência artificial será um grande facilitador, permitindo validações mais rápidas e eficientes dos protótipos, evitando erros e melhorando a produtividade na construção do carro. Dessa forma, todas as mudanças no projeto podem ser feitas em minutos, e com o auxílio dos óculos de RV, o gestor pode determinar rapidamente se a mudança de engenharia será adequada ou não para os objetivos do projeto. Dessa forma, economiza tempo, mão de obra e recursos financeiros que podem ser alocados para outras etapas do processo.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB). Ingrid Winkler é bolsista de desenvolvimento tecnológico CNPq (Proc. 308783/2020-4). Agradecemos especialmente ao Prof. Sanval Santos e ao Prof. Júlio Câmara, da coordenação de cursos do Senai Cimatec, pelo valioso apoio.

## REFERÊNCIAS

CAMILO, Caio César Curvelo; FREIRE, Matheus Avelino. **Bancada ergonômica para veículos Baja SAE**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

EMBRAPIL. **Inteligência artificial vai prever falhas automotivas para evitar recalls.** 2021. Disponível em: <https://embrapil.org.br/inteligencia-artificial-vai-prever-falhas-automotivas-para-evitar-recal>. Acesso em: 31 ago. 2023.

FERREIRA, João Lucas Moura; FERREIRA, Igor Antunes; GUIMARÃES, Luiz Gustavo Monteiro; COSTA, Arthur Barros. Avaliação ergonômica de um veículo Baja. **Engenharia mecânica**: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem, [S. l.], v. 2, n. 17, p. 211-233, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.17321180617>.

JERARD, Jason. **The VR book**: human-centered design for virtual reality. 1. ed. California:ACM/Morgan & Claypool, 2015.

MESQUITA FILHO, Marcos Antônio Neves; BLANCO, Leo Guedes; ASSIS, Lucas Aragão de; MUNIZ, Pedro Bancillon Ventin. Estudo da avaliação estrutural de um chassi utilizando o Método de Elementos Finitos. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA, 5., 2019. **Anais** [...]. [S. l.: s. n.], nov. 2019.

NETTO, Antônio Valerio; TAHARA, Creusa Sayuri; PORTO, Arthur J. Vieira; GONÇALVES FILHO, Eduardo Vila. Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto. **Gestão e Produção**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 104-116, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/Brbwf88KLgqyn977t97JNtf/?format=pdf>. Acesso em: 1 set. 2023.

SAE BRASIL. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil.** 2023. Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil>. Acesso em: 31 ago. 2023.

SOUZA, Rafael de Sena; BLANCO, Leo Guedes; MESQUITA FILHO, Marcos Antônio Neves; MUNIZ, Pedro Bancillon Ventin. Estudo ergonômico aplicado A um mini Baja. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA, 5., 2019. **Anais** [...]. [S. l.: s. n.], nov. 2019.

# 4

*Victoria Mariane Cardoso Silva  
Lucas Gregory Gomes de Almeida  
Márcio Fontana Catapan*

**ANÁLISE DE PERCEÇÃO  
DE RISCO EM REALIDADE  
VIRTUAL:  
UM ESTUDO DE CASO COM *BIOFEEDBACK***

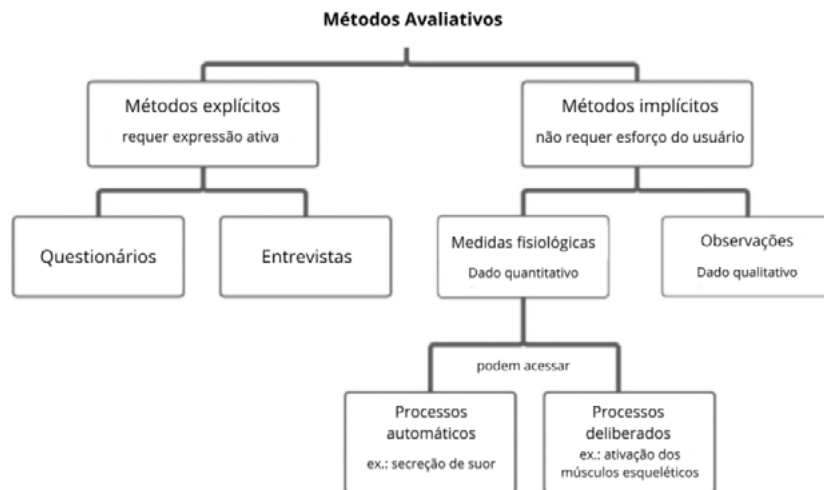
## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a realidade virtual (RV) tem se consolidado como uma ferramenta promissora em treinamentos industriais, graças à sua capacidade de simular ambientes complexos e controlar variáveis com alto grau de imersão (Winkler *et al.*, 2025). Existem diversos estudos na literatura que tentam acessar a experiência do usuário em realidade virtual, por exemplo, Borba *et al.* (2016), que investigaram uma simulação de manutenção de postes de alta-tensão com um questionário.

Apesar de oferecerem importantes *insights*, os questionários aplicados à realidade virtual, como Presence Questionnaire, SUS, SSQ, SAM, UEQ, NASA, IPQ, entre outros, estão sujeitos a vieses e erros de interpretação (Schone *et al.*, 2023). E se limitam em captar apenas sensação de presença, nível de imersão, entre outros constructos subjetivos.

A partir disso, tem-se observado um crescente interesse em complementar esses dados subjetivos com dados fisiológicos objetivos, como rastreamento ocular (*eye tracking*), frequência cardíaca e atividade cerebral. Essas ferramentas podem, inclusive, ampliar o horizonte de análises e quantificar precisamente: nível de medo, curva de aprendizagem, atenção ou foco. A Figura 1 esquematiza esses métodos avaliativos e destaca que medidas fisiológicas não exigem um esforço ainda maior do usuário, ao contrário de questionários e entrevistas.

Figura 1 - Métodos para coletar dados em realidade virtual



Fonte: adaptado de Halbig e Latoschik (2021).

Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a percepção de risco em uma experiência de realidade virtual amplamente consolidada, e relacionar ao contexto de treinamentos industriais imersivos. Como objetivos específicos, busca-se: (i) comparar a coerência entre os dados verbais obtidos por meio da técnica *think aloud* e os dados neurofisiológicos coletados via eletroencefalograma; (ii) investigar se os dados provenientes exclusivamente do *biofeedback* são suficientes para sustentar conclusões equivalentes sobre a percepção de risco; e (iii) elaborar recomendações para o design e o aprimoramento de treinamentos industriais imersivos.

## DISCUSSÃO TEÓRICA

### REALIDADE VIRTUAL

Realidade virtual é um ambiente tridimensional, imersivo e interativo gerado por computador. Embora seja amplamente reconhecida pelo uso em jogos de entretenimento, essa tecnologia tem demonstrado potencial em diversas áreas, como: treinamento, educação, simulação e saúde (Hamad; Jia, 2022).

A RV tem se destacado para a preparação de desastres no geral, ao simular cenários perigosos em um ambiente controlado (Mehra, *et al.*, 2025). No setor industrial em específico, o uso de simuladores ou treinamentos imersivos já são uma prática consolidada, com simuladores de direção, simuladores de voo para pilotos, entre outros (Hamad; Jia, 2022).

Logo, essa característica da realidade virtual de recriar experiências de forma realista, porém segura, faz dela uma tecnologia promissora para o desenvolvimento de competências em cenários de risco.

### *BIOFEEDBACK*

O *biofeedback* é uma técnica que monitora e traz uma devolutiva de sinais fisiológicos em tempo real, promovendo maior consciência corporal, emocional e cognitiva. Pode ser usado para alterar a realidade virtual, com base na devolutiva dos sinais, ou, em casos mais simples, avaliar a efetividade do treinamento (Halbig; Latoschik, 2021), como é o caso desta proposta de pesquisa.

Algumas métricas fisiológicas que podem ser utilizadas são: rastreamento ocular (*eye tracking*), frequência cardíaca (HR ou HRV), atividade cerebral, dilatação pupilar, atividade muscular, padrão respiratório, entre outros. A métrica que será utilizada no presente estudo é a atividade cerebral, por meio de eletroencefalograma (EEG), que é acoplado na cabeça, assim como os óculos de realidade virtual.

O *biofeedback* tem uma ampla possibilidade de aplicações, tipos de sensores, variáveis, técnicas e abordagens de análise, algumas mais simples que as outras (Halbig; Latoschik, 2021).

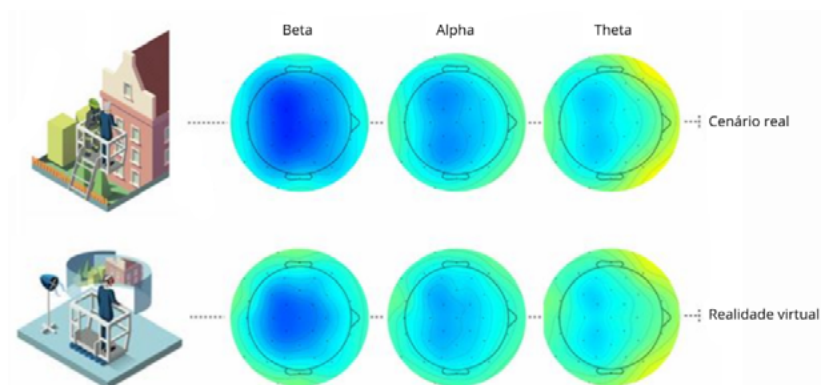
Todos podem oferecer *feedback* interessantes, como tensão muscular, carga cognitiva, atenção, ansiedade e envolvimento emocional. Logo, o *biofeedback*, em sua forma mais simples, possibilita a avaliação de dados fisiológicos e, para além disso, a criação de sistemas inteligentes que se adaptam em tempo real às necessidades do usuário.

## ELETOENCEFALOGRAMA APLICADO À REALIDADE VIRTUAL

O eletroencefalograma é uma técnica não invasiva (Silva *et al.*, 2022), utilizada para registrar a atividade elétrica do cérebro. Ele funciona detectando as variações dos potenciais elétricos na superfície da pele, resultantes das atividades dos neurônios corticais, captadas por eletrodos dispostos ao longo do couro cabeludo.

Essa técnica, que era tradicionalmente usada para monitorar e diagnosticar doenças, vem sendo cada vez mais explorada como *biofeedback* e em interfaces cérebro-computador (BCI) (Kaminska *et al.*, 2021). Para exemplificar, a Figura 2 mostra um mapa de calor das ondas neurais captadas em um treinamento real, em comparação a um treinamento imersivo.

**Figura 2 - Atividade cerebral em um cenário real vs em realidade virtual**



*Fonte: adaptado de Schone et al. (2023).*

A eletroencefalografia também permite quantificar o impacto de diferentes variáveis no design das realidades virtuais. Nos estudos de Bogacz *et al.* (2020), os autores modificavam características como a velocidade da bicicleta ou a quantidade de carros na cena, para comparar o comportamento cognitivo do ciclista.

Essa habilidade de acessar a resposta emocional do usuário em uma simulação de risco é bastante valiosa para o campo do design e para o desenvolvimento de treinamentos imersivos cada vez mais eficazes.

## PERCEÇÃO DE RISCO

A percepção de risco é uma parte inerente da tomada de decisão, que depende de treinamentos, comportamentos instintivos e informações acessíveis (Amaya, *et al.*, 2022).

Do ponto de vista neurofisiológico, estudos como o de Schone *et al.* (2023) identificaram que as bandas de frequência alfa, teta e beta

estão diretamente associadas à percepção de risco. Essas ondas cerebrais têm sido amplamente analisadas na literatura como marcadores sensíveis a processos de atenção, vigilância e avaliação de ameaças, sendo, portanto, centrais para pesquisas que investigam respostas cognitivas em simulações de risco.

Apesar do exposto, é importante reconhecer uma fraqueza nos estudos que exploram a experiência do usuário em um treinamento imersivo, pois é impossível comparar os resultados obtidos com um cenário real, afinal, isso sujeitaria o participante a um risco real.

## METODOLOGIA

Com base na contemporaneidade do tema (Leite *et al.*, 2025), esta proposta de pesquisa tem natureza exploratória e adota o estudo de caso como método. O estudo de caso é um método empírico, fenomenológico e que permite uma compreensão holística do fenômeno (Santos, 2018).

Na busca de identificar a unidade de análise, ou seja, a percepção de risco, serão empregadas dentro do método as seguintes técnicas de coleta de dados: eletroencefalograma, *think aloud* e entrevista. Assim, tem-se uma abordagem mista, quantitativa e qualitativa. Ou seja, busca-se investigar a coerência entre o que os participantes verbalizam e o que é manifestado em termos neurofisiológicos, comparando dados de EEG com métodos avaliativos tradicionais, a fim de discutir a validade do *biofeedback* como técnica de avaliação da experiência do usuário em ambientes virtuais.

Este método combinado com estas técnicas possibilitam uma compreensão holística da percepção de risco em experiências imersivas, respeitando a complexidade do comportamento humano diante de situações simuladas de risco.

A partir disso, o protocolo de pesquisa do estudo de caso segue as mesmas etapas do roteiro de Meyer *et al.* (2010), sendo mais detalhado para esta pesquisa na Figura 3:

**Figura 3 - Etapas do método**



Fonte: da autora (2025).

Esta pesquisa é orientada pela seguinte pergunta central: Como a percepção de risco se manifesta, em termos neurofisiológicos, durante uma experiência imersiva de realidade virtual? A partir dessa questão, desdobram-se perguntas consecutivas que buscam aprofundar a análise e ampliar a aplicabilidade dos resultados, a saber: de que forma os achados obtidos podem orientar o design de treinamentos industriais imersivos e se o uso exclusivo de dados de *biofeedback* é suficiente para alcançar conclusões equivalentes às obtidas por métodos avaliativos tradicionais.

Portanto, o objeto de estudo, Richie's Plank Experience, foi escolhido por ser uma experiência de realidade virtual amplamente consolidada no mercado, selecionada por sua capacidade de simular uma situação análoga a cenários de risco recorrentes em atividades industriais, como o trabalho em altura. Embora não se trate de um treinamento industrial propriamente dito, a aplicação escolhida apresenta características relevantes para a investigação da percepção de risco, permitindo a extrapolação dos achados para o campo dos treinamentos industriais imersivos.

A unidade de análise desta pesquisa é a percepção de risco manifestada pelos participantes durante a experiência imersiva.

Para acessá-la, serão empregadas múltiplas técnicas de coleta de dados, adotando-se uma abordagem mista, que integra métodos quantitativos e qualitativos. As técnicas utilizadas incluem: (i) eletroencefalografia (EEG); (ii) a técnica *think aloud*, que permite a verbalização em tempo real das percepções, decisões e sentimentos dos participantes; e (iii) entrevistas semiestruturadas, realizadas após a experiência, com o objetivo de aprofundar a compreensão das interpretações e significados atribuídos pelos usuários.

A combinação dessas técnicas busca investigar a coerência entre o que os participantes expressam verbalmente e o que é manifestado em termos neurofisiológicos. Dessa forma, pretende-se comparar os dados obtidos por meio do EEG com aqueles oriundos de métodos avaliativos tradicionais, discutindo a validade e o potencial do *biofeedback* como ferramenta de avaliação da experiência do usuário em ambientes de realidade virtual.

## CONCLUSÃO

Espera-se que os resultados futuros contribuam não apenas para o aprofundamento sobre percepção de risco em ambientes imersivos, mas também para a consolidação do *biofeedback* como ferramenta válida, complementar ou potencialmente alternativa aos métodos tradicionais de avaliação da experiência do usuário.

Por fim, o estudo pretende extrapolar seus achados obtidos a partir da análise da experiência do usuário em uma aplicação bem consolidada no mercado, para o desenvolvimento de realidades virtuais mais eficazes, seguras e alinhadas às demandas contemporâneas da indústria.

## REFERÊNCIAS

AMAYA, Rafael; DUMAR, Vivian; SANCHEZ-SILVA, Mauricio; TORRES CUELLO, Maria Alejandra; AVILA, Alba; MUNOZ, Felipe. An analysis of engineering students' risk perception to support Process Safety learning process. **Education for Chemical Engineers**, [s. l.], v. 42, out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.10.003>. Acesso em: 27 nov. 2025.

BOGACZ, Martyna; HESS, Stephane; CHOUDHURY, Charisma; CALASTRI, Chiara; MUSHTAQ, Faisal; AWAIS, Muhammad; NAZEMI, Mohsen; VAN EGGERMOND, Michael; ERATH, Alexander. Cycling in virtual reality: modelling behaviour in an immersive environment. **Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research**, [s. l.], mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1745358>. Acesso em: 27 nov. 2025.

BORBA, Eduardo Zilles; CABRAL, Marcio; MONTES, Andre; BELLOC, Olavo; ZUFFO, Marcelo. Immersive and Interactive Procedure Training Simulator for High Risk Power Line Maintenance. *In*: ACM SIGGRAPH 2016 VR VILLAGE, 2016, Anaheim. **Proceedings** [...]. Anaheim: ACM, jul. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2929490.2929497>. Acesso em: 27 nov. 2025.

CORDEIRO, André Martins; AMBROSIO, Paulo; LEITE, Regina Maria Cunha; ALMEIDA, Lucas Gregory Gomes; THASLA, Yasmin; SIQUEIRA, Alexandre Gomes de; CATAPAN, Marcio Fontana; WINKLER, Ingrid; SILVA, Tiago; BRANDÃO, Matheus e GOMES, Pedro Reis. Immersive Technologies to Height Safety: Training Evaluation and Insights. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EXTENDED AND VIRTUAL REALITY (AIXVR), 2025, Lisboa. **Proceedings** [...]. Lisboa: IEEE, 2025. p. 435-440. DOI: 10.1109/AIXVR63409.2025.00082.

HALBIG, Andreas; LATOSCHIK, Mark Eric. A Systematic Review of Physiological Measurements, Factors, Methods, and Applications in Virtual Reality. **Frontiers in Virtual Reality**, [s. l.], v. 2, p. 694567, 2021. Disponível em: 10.3389/frvir.2021.694567. Acesso em: 27 nov. 2025.

HAMAD, Ayah; JIA, Bochen. How virtual reality technology has changed our lives: an overview of the current and potential applications and limitations. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph191811278>. Acesso em: 18 jun. 2025.

KAMINSKA, Dorota; SMOLKA, Krzysztof; ZWOLINSKI, Grzegorz. Detection of mental stress through EEG signal in virtual reality environment. **Electronics**, [s. l.], v. 10, n. 22, p. 2840, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/electronics10222840>. Acesso em: 27 nov. 2025.

LEITE, Regina Maria Cunha; CORDEIRO, André Martins; ALMEIDA, Lucas Gregory Gomes; CATAPAN, Marcio Fontana; WINKLER, Ingrid. Avaliação de realidade virtual para treinamento de profissionais da construção civil que trabalham em altura. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA NA CONSTRUÇÃO, 14., 2025. **Anais** [...]. [S. l.: s. n.], set. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/sibragec.v14i.6576>. Acesso em: 18 dez. 2025.

MEHRA, Arjun; RANA, Sahil; DEVI, Arti; KUMAR, Shivan; DUTT, Varun; KUMAR, Ajoy; UDAY, Kv. Virtual reality in crisis: how perceived risk and warning accuracy shape behavior in landslide scenarios. *In*: IEEE CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY AND 3D USER INTERFACES, 32., 2025. **Proceedings** [...]. [S. l.]: IEEE, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/VRW66409.2025.00140>. Acesso em: 18 jun. 2025.

MEYER, Regina, ARELLANO, Raul, FONTES, Orlando. Metodologia de estudo de casos aplicada à logística. *In*: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 24., 2010. **Anais** [...]. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <https://lalt.fecfau.unicamp.br/scriba/files/escrita%20portugues/ANPET%20-%20METODOLOGIA%20DE%20ESTUDO%20DE%20CASO%20-%20COM%20AUTORIA%20-%20VF%2023-10.pdf>. Acesso em: 27 maio 2024.

SANTOS, Aguinaldo. **Seleção do método de pesquisa**: guia para pós-graduando em design e áreas afins. Curitiba: Insight, 2018.

SCHONE, Benjamin; KISHER, Joanna; LANGE, Leon; GRUBER, Thomas; SYLVESTER, Sophia; OSINSKY, Roman. The reality of virtual reality. **Frontiers in Psychology**, [s. l.], v. 14, p. 1093014, 2023. Disponível em: [10.3389/fpsyg.2023.1093014](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1093014). Acesso em: 27 nov. 2025.

SILVA, Victoria; CATAPAN, Marcio; SVIATOWSKI, Aline; SANTIAGO, Amanda; AYLON, Linnyer; HUBNER, Rodrigo. Study of brain waves in the learning process in virtual reality. **Caderno Pedagógico**, v. 19, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v19i1a20171452>.

WINKLER, Ingrid; AMBROSIO, Paulo; LEITE, Regina Maria Cunha; CORDEIRO, André Martins; ALMEIDA, Lucas Gregory Gomes; THASLA, Yasmin; SIQUEIRA, Alexandre Gomes de; CATAPAN, Marcio Fontana; BERRETA, Luciana. Biofeedback na avaliação de experiência do usuário em ambientes imersivos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO APLICADA À SAÚDE, 25., 2025. **Anais** [...]. [S. l.]: SBCAS, 2025.

# 5

*Marcus Vinícius Oliveira Ribeiro Brandão  
Camille Pereira Guimarães  
Iuri Silva Brito  
João Vitor Siqueira Fonseca  
Daniel marques Santana Oliveira  
Andressa Clara Barbosa de Araujo  
Ingrid Winkler  
Cristiane Agra Pimentel*

**MISSÃO LEAN:  
METODOLOGIA ATIVA  
ATRAVÉS DA REALIDADE VIRTUAL**

## INTRODUÇÃO

A filosofia *Lean* constitui um sistema de gestão orientado à otimização de processos por meio da identificação e eliminação sistemática de desperdícios, com vistas ao aumento da eficiência e da produtividade organizacional. Assim, originada no Sistema Toyota de Produção, no Japão, essa abordagem emergiu como resposta à necessidade de recuperação e manutenção da competitividade industrial, focando na melhoria do desempenho organizacional, sem comprometer a qualidade dos processos e produtos (Lopes; Araújo; Pimentel, 2024).

Diante desse cenário, a capacitação voltada à identificação dos desperdícios torna-se etapa fundamental para o sucesso da melhoria contínua. Contudo, métodos tradicionais de ensino têm demonstrado limitações quanto à efetividade na assimilação e retenção desses conteúdos, especialmente em ambientes complexos e dinâmicos (Mahl *et al.*, 2023). Em resposta a esse desafio, observa-se a crescente incorporação de tecnologias digitais como suporte aos processos de ensino-aprendizagem, com destaque para ferramentas interativas capazes de transformar conteúdos teóricos em experiências práticas e mais significativas (Silva, 2021).

Dessa maneira, tecnologias como a Realidade Virtual (RV) destacam-se por possibilitar a criação de ambientes imersivos e interativos, favorecendo a aprendizagem experiencial e a simulação de situações reais. Evidências empíricas indicam sua ampla utilização em contextos corporativos, especialmente em treinamentos, nos quais se destaca como recurso eficaz para o desenvolvimento de competências e a familiarização com processos complexos (Ostrowski, 2018). Dessa maneira, estudos indicam que a integração entre RV e elementos gamificados favorece experiências de aprendizagem mais significativas, centradas no aluno e sustentadas pela motivação intrínseca. Nesse sentido, a articulação entre princípios

*Lean*, tecnologias digitais imersivas e práticas gamificadas apresenta elevado potencial para qualificar o processo de ensino-aprendizagem em contextos que demandam envolvimento contínuo e aplicação prática (Bai *et al.*, 2024).

Portanto, o presente estudo justifica-se pela necessidade de soluções educacionais inovadoras que complementam os métodos tradicionais, com foco no aprendizado dos desperdícios *Lean*, considerados críticos para a consolidação da melhoria contínua. Assim, o objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um produto digital e na análise de sua usabilidade como ferramenta de apoio ao aprendizado dos desperdícios do *Lean*.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### GAMIFICAÇÃO COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA O *LEAN*

A filosofia *Lean*, desenvolvido por Taiichi Ohno, fundamenta-se na eliminação sistemática dos sete tipos de desperdícios (superprodução, espera, transporte, processamento excessivo, estoque, movimentação e defeitos) como estratégia para elevar a eficiência operacional das organizações (Ohno, 1997).

Nessa perspectiva, o *Lean* busca não apenas produzir o estritamente necessário, mas também promover a melhoria contínua da qualidade, a otimização do uso da força de trabalho e a criação de valor ao cliente. Ao longo do tempo, essa abordagem extrapolou o contexto do chão de fábrica e consolidou-se como uma filosofia organizacional mais abrangente, denominada *Lean Thinking*, orientada ao aperfeiçoamento contínuo dos processos em todas as áreas da empresa (Tadeu *et al.*, 2024).

Inserido no contexto da Indústria 4.0, o *Lean* passou a incorporar tecnologias digitais, originando o conceito de *Lean 4.0*, que integra princípios enxutos a ferramentas como Internet das Coisas, *Big Data* e Inteligência Artificial, ampliando a visibilidade dos processos, favorecendo a tomada de decisão em tempo real e potencializando ganhos de desempenho organizacional (Liu *et al.*, 2022). Nesse sentido, a transformação digital impõe às organizações, desafios relacionados à adoção de novas tecnologias, entre os quais se destacam a resistência à mudança e o desalinhamento cultural dos colaboradores. Assim, a gamificação emerge como uma ferramenta estratégica capaz de apoiar a disseminação dos princípios *Lean* ao incorporar elementos de jogos em ambientes não lúdicos, promovendo maior engajamento e motivação (Hackbarth, 2025).

De acordo com Silva (2021), estudos apontam que a gamificação aplicada a treinamentos corporativos contribui para o aumento do engajamento, a melhoria da retenção de conhecimento e a oferta de *feedbacks* em tempo real, favorecendo uma aprendizagem mais ativa e significativa. Além disso, essa metodologia possibilita a simulação de cenários complexos de forma controlada, o que se mostra especialmente relevante no ensino de conceitos *Lean*, como a identificação de desperdícios e a análise de processos.

## REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA NO APRENDIZADO ATIVO GUIADO

A Realidade Aumentada (RA) e a Realidade Virtual (RV) destacam-se entre as tecnologias emergentes com maior potencial de aplicação nos processos educacionais e organizacionais. A RA caracteriza-se pela sobreposição de elementos virtuais ao ambiente real, enquanto a RV cria ambientes totalmente imersivos, nos quais o usuário pode interagir de forma segura e controlada por meio de dispositivos específicos (Xu; Xu; Li, 2018).

Quando integradas à gamificação, RA e RV ampliam significativamente o potencial pedagógico das metodologias ativas ao estimular a participação do usuário e promover uma postura mais autônoma no processo de aprendizagem. Essa combinação possibilita a criação de experiências educacionais imersivas, nas quais o aprendizado ocorre por meio da experimentação, do erro e do ajuste contínuo, características fundamentais para o desenvolvimento do pensamento *Lean* (Hackbarth, 2025).

Dessa forma, a união potencializa ainda mais o aprendizado, criando experiências pedagógicas imersivas que onde utilizam a linguagem e as estratégias dos jogos para motivar e engajar, tornando o aprendizado mais rápido e de fácil interpretação. Quando combinada com a RA, essa abordagem expande a percepção do aluno ao promover uma postura mais autônoma, engajando-o na utilização de ferramentas de prototipagem rápida, para criar o conhecimento a partir de experiências que envolvem erros e ajustes contínuos (Sebrae, 2019).

## METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória e descritiva, de abordagem qualitativa, do tipo estudo de caso. Esta estratégia investigativa foi adotada por permitir o mapeamento e a análise detalhada da criação de um produto digital focado na mudança da gamificação analógica para o ambiente virtual, visando à eficácia de jogos como metodologia ativa no ensino dos princípios *Lean* (Minayo, 2006). Ademais, segundo Coelho *et al.* (2025), os jogos são ferramentas eficazes para elevar o engajamento e a motivação no contexto educacional. Assim, o processo de criação e desenvolvimento do produto foi estruturado em cinco etapas principais.

## SUMÁRIO

A primeira etapa consistiu na capacitação e estudo das ferramentas, focando em treinamentos necessários para garantir que as tecnologias fossem utilizadas com sucesso. Em seguida, a segunda etapa consistiu na escolha dos *softwares*, priorizando a qualidade da experiência do usuário e a eficácia na aprendizagem. Para a modelagem 3D, utilizou-se o *SketchUp* devido à sua interface intuitiva e precisão arquitetônica, facilitando a criação de cenários realistas que favorecem a imersão. Para o desenvolvimento da lógica de jogo, utilizou-se a *Unreal Engine* através do sistema *Blueprint* (programação visual), o que permitiu que o desenvolvimento se concentrasse na mecânica de aprendizagem e na interatividade do usuário, utilizando-o como recurso educativo.

A terceira etapa compreendeu o desenvolvimento do *script*, transformando o cenário estático em um sistema dinâmico de aprendizado. Através da linguagem *Blueprint*, foram implementadas as funcionalidades que compõem a essência da experiência ativa, incluindo comandos para manipulação de objetos e navegação do usuário. O diferencial dessa fase foi a implementação das mecânicas de aprendizagem, com um sistema de detecção e resposta aos desperdícios *Lean*, oferecendo *feedback* imediato das ações e reforçando o ciclo de aprendizado através do desafio e da conquista.

A quarta etapa foi dedicada aos testes e validação do protótipo, em que a versão funcional foi submetida a sessões de uso com membros dos projetos Gêmeo Digital e Princesas *Tech* da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), além de ser apresentada em feiras internacionais de jogos e eventos regionais. O registro de resposta foi dado de maneira informal e oral, sendo direcionado à avaliação da jogabilidade (facilidade de interação), da clareza conceitual (capacidade de transmitir visualmente os conceitos *Lean*) e da experiência do usuário.

Por fim, a quinta etapa envolveu o *branding* e os procedimentos de propriedade intelectual, consolidando a formalização

do produto educativo. Esta fase incluiu o desenvolvimento da identidade visual e do nome do produto através da plataforma *Canva*, visando aprimorar a comunicação visual do jogo. Simultaneamente, realizou-se a preparação da documentação legal para o registro de *software* e marca junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), contando com o apoio da Coordenação de Criação e Inovação (CINOVA) da UFRB para garantir a proteção e o reconhecimento da tecnologia educacional gerada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal resultado deste estudo é a criação e o desenvolvimento de um jogo educativo em Realidade Virtual. O poder educativo desse tipo de abordagem é reforçado pela literatura. O estudo de Freitas *et al.* (2025) mostrou que alunos que aprendem com Realidade Virtual e Aumentada podem reter até 75% mais conhecimento do que nos métodos tradicionais, além de terem mais engajamento e motivação. A capacidade da RV de dar contexto a ideias abstratas e permitir interações em tempo real ajuda não só a memorizar, mas a entender os temas a fundo (Lima Júnior *et al.*, 2025).

A base do aprendizado no jogo é um sistema interativo para reconhecer os desperdícios. Na parte externa do refeitório, o jogador encontra uma estante com sete troféus, que simbolizam cada um dos desperdícios *Lean* (Movimentação, Transporte, Estoque, Espera, Superprodução, Retrabalho e Defeito), como mostra a figura 1.

**Figura 1 - Estante de troféus**



*Fonte: autoria própria.*

A missão do usuário é observar o ambiente, reconhecer as perdas e levar os troféus aos seus respectivos *totens*, que estão localizados próximos dos desperdícios. Quando o troféu é associado de forma correta, uma luz se acende e uma mensagem confirma o nome do desperdício, como mostra a figura 2. Caso não seja, nada acontece, o que estimula o jogador a analisar a situação de novo.

**Figura 2 - Feedback visual**



*Fonte: autoria própria.*

Seguindo a metodologia, um protótipo funcional passou por uma sessão de testes. Essa avaliação, focada na jogabilidade, na clareza e na busca por falhas, trouxe os seguintes resultados:

- Jogabilidade e interatividade: A maioria dos participantes se acostumou rápido com os controles. Mexer nos objetos e andar pelo cenário foi considerado fluido, mas sugeriram um tutorial inicial para quem não tem experiência com RV.
- Clareza ao mostrar os desperdícios: Os participantes reconheceram com sucesso quase todas as perdas, principalmente Espera e Defeito. Porém, o desperdício de Movimentação foi difícil de identificar para alguns, mostrando que é preciso melhorar seu visual.
- Identificação de erros técnicos: Foram relatadas pequenas inconsistências, mas que não prejudicaram a experiência principal do jogo.

A etapa final do projeto foi dedicada a registrar e proteger a propriedade intelectual criada. Essa fase encerra com a aprovação do registro do jogo como programa de computador no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), sob o código BR512025003772-4. Ao mesmo tempo, o pedido de registro da marca foi enviado e, até a escrita deste capítulo, segue em análise. Essas ações trazem mais segurança para produto desenvolvido neste estudo.

O desenvolvimento do Missão *Lean*: Refeitório mostrou que escolher o *Unreal Engine* foi essencial para focar na experiência do usuário e no aprendizado, sem se prender à complexidade da programação de códigos tradicionais. E a gamificação mostrou que deixa o aprendizado mais prático e interativo, permitindo treinar habilidades e fixar o conteúdo de forma divertida (Silva, 2021). A dificuldade para achar o desperdício de Movimentação não deve ser vista como erro, mas sim como um ponto de melhoria da interface do jogo. Ainda que existam muitas variáveis e contextos complexos comum

à filosofia *Lean*, a literatura demonstra que a gamificação é muito útil para ensino (Hackbarth, 2025).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento e a validação do produto permitiram concluir que a integração entre Realidade Virtual e gamificação constitui uma estratégia pedagógica robusta e eficaz para o ensino da filosofia *Lean*. A pesquisa demonstrou que a imersão tecnológica não apenas moderniza o processo de ensino-aprendizagem, mas também facilita a assimilação de conceitos que, em métodos tradicionais, poderiam parecer abstratos ou puramente teóricos.

Entre os principais aprendizados, destaca-se a eficiência do uso da *Unreal Engine* com o sistema *Blueprint*. Essa escolha tecnológica provou-se essencial para democratizar o desenvolvimento do jogo, permitindo que o foco se mantivesse na experiência do usuário e na mecânica de aprendizagem, sem as barreiras da programação de códigos complexos. Além disso, confirmou-se que o *feedback* imediato proporcionado pelo sistema de troféus e altares é crucial para a fixação do conteúdo, transformando o erro em uma oportunidade instantânea de aprendizado.

Visando à evolução contínua desta ferramenta e à expansão de seu potencial educativo, apresentam-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros: Tutorial de utilização, em que se sugere a inclusão de uma fase introdutória ou tutorial focado nos controles dos óculos de Realidade Virtual; Aprimoramento do desperdício de movimentação; Sistema de pontuação (*ranking*); e Adaptação de ambientes, propondo a expansão do jogo para outros cenários organizacionais além do refeitório, como linhas de montagem industriais, escritórios administrativos ou estoques de logísticas.

## REFERÊNCIAS

BAI, H. *et al.* Virtual reality and gamification in education: a systematic review. **Educational Technology Research and Development**, [s. l.], v. 72, p. 1691-1785, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10351-3>. Acesso em: 14 jan. 2025.

COELHO, N. L. N. *et al.* Gamificação na educação contemporânea: Estratégia de engajamento e personalização do ensino. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 1-14, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.61164/rmnm.v3i1.3571>. Acesso em: 13 jan. 2026.

FREITAS, C. A. *et al.* Impacto da inteligência artificial na avaliação acadêmica: transformando métodos tradicionais de avaliação no ensino superior. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 2736--2752, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v11i1.18011>. Acesso em: 15 jan. 2026.

HACKBARTH, G. C. M. **Gamificação para o treinamento de Lean Thinking:** uma proposta para o aperfeiçoamento da cultura 4.0. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2025. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/37829/1/gamificacaotreinamentoleanthinking.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

LIMA JÚNIOR, E. L. *et al.* A utilização de realidade virtual e aumentada para aprender. **Lumen et Virtus**, [s. l.], v. 16, n. 46, p. 2907-2921, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/levv16n46-093>. Acesso em: 15 jan. 2026.

LIU, S-F. *et al.* Cultura organizacional: a chave para aprimorar a gestão de serviços na Indústria 4.0. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app12010437>. Acesso em: 13 jan. 2026.

LOPES, E. C. S.; ARAÚJO, A. C.; PIMENTEL, C. A. Simulação aplicada à melhoria de fluxo em um hospital público. **Brazilian Journal of Production Engineering**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 435-448, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v10i3.45221>. Acesso em: 14 jan. 2026.

MAHL, G. *et al.* Pesquisa comparativa entre metodologia tradicional e ativa – aprendizado e memória. **Integrar – Revista Acadêmica**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1-9, 2023. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/integrar/article/view/3645>. Acesso em: 14 jan. 2026.

MINAYO, M. C. S. (org.). **Pesquisa Social**: teoria, método e criatividade. 25. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2006.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OSTROWSKI, S. Growing impact of emerging technologies examined in Comptia research briefs. **PR Newswire**. 2018. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/growing-impact-of-emerging-technologies-examined-in-comptia-research-briefs-300583096.html>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SEBRAE. **Realidade aumentada e suas aplicações na indústria**. Brasília, DF: Sebrae, 2019. Disponível em: [https://sebrae.com.br/Sebrae/PortalSebrae/Arquivos/ebook\\_sebrae\\_realidade-aumentada-suas-aplicacoes-na-industria.pdf](https://sebrae.com.br/Sebrae/PortalSebrae/Arquivos/ebook_sebrae_realidade-aumentada-suas-aplicacoes-na-industria.pdf). Acesso em: 14 jan. 2026.

SILVA, W. D. Gamificação na Engenharia de Produção: aplicação das ferramentas do *lean manufacturing* em um laboratório de ensino e experimentação. **Revista Produção Online**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 488-517, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i2.4234>. Acesso em: 14 jan. 2026.

TADEU, A. S. B. A. *et al.* Estudo do nível de maturidade Lean 4.0 em empresas brasileiras. **Revista Eletrônica PesquisABC**, [s. l.], v. 37, n. 10, p. 2675-1461, 2024. Disponível em: <https://www.ufabc.edu.br/divulgacao-cientifica/pesquisabc/edicao-n-37-outubro-de-2024/estudo-do-nivel-de-maturidade-lean-4-0-em-empresas-brasileiras>. Acesso em: 14 jan. 2026.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>. Acesso em: 15 jan. 2026.

## SUMÁRIO

# 6

*Priscila Coutinho Miranda  
Thiago Barros Murari  
Soraia Vanessa Matarazzo*

## **CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DAS ORGANIZAÇÕES DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL PARA ATUAÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0 E DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL**

## INTRODUÇÃO

Este texto é parte integrante de uma pesquisa de doutorado que tem como objetivo construir um modelo analítico para avaliar as capacidades tecnológicas das organizações de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) diante dos avanços da Indústria 4.0 e da transformação digital.

A efetividade da atuação das organizações de ATER junto aos agricultores familiares requer não apenas esforços na incorporação de novas tecnologias, mas também o fortalecimento dos elementos que compõem as dimensões das capacidades tecnológicas em uma organização, tais como adaptação de rotinas organizacionais, o fortalecimento de competências humanas, a adequação da infraestrutura e a reconfiguração dos serviços oferecidos, de modo a responder às demandas sociais, econômicas e territoriais da agricultura familiar contemporânea e ao que preconiza a legislação atinente à ATER brasileira.

As organizações de ATER desempenham um papel estratégico no fortalecimento da agricultura familiar, pois atuam como mediadoras entre o conhecimento científico, tecnológico e os agricultores familiares. Peixoto (2008) propõe que a extensão rural seja compreendida sob três perspectivas: como processo, como instituição e como política pública. Este estudo reconhece a relevância dessas três dimensões, e o foco desta pesquisa recai sobre o âmbito institucional, com ênfase na análise das capacidades tecnológicas das organizações responsáveis pela execução dos serviços de ATER no Brasil.

Ressaltam Corrêa e Cartes (2022) que as organizações de ATER precisam refletir sobre inovar em suas ações extensionistas para assegurar sua função educativa e comunicativa. No contexto da Indústria 4.0 e da transformação digital no meio rural, esse desafio

se intensifica, uma vez que a atuação extensionista passa a demandar o uso de tecnologias digitais, sistemas de informação, além de incorporar novas metodologias de mediação do conhecimento.

Existe uma lacuna na literatura no que diz respeito a modelos e instrumentos de pesquisa para avaliar as capacidades tecnológicas das organizações de ATER, de modo a diagnosticar pontos fortes e fragilidades dessas instituições, bem como subsidiar a tomada de decisão dos gestores na proposição de estratégias de fortalecimento institucional. A ausência de compreensão sobre o nível de capacidades tecnológicas das organizações de ATER pode comprometer o diagnóstico sobre o nível de preparo dessas instituições para promover e formular ações voltadas ao seu aprimoramento.

Diante do exposto, torna-se fundamental compreender em que medida as organizações de ATER estão tecnologicamente preparadas para responder às exigências contemporâneas, principalmente no contexto da Indústria 4.0 e da transformação digital, de modo a subsidiar a formulação de políticas públicas e estratégias voltadas ao fortalecimento de suas capacidades tecnológicas e, conseqüentemente, promover melhorias nos serviços de ATER prestados aos agricultores familiares.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A coleta de dados baseou-se na legislação, em textos e resultados de pesquisa dentro da temática das Capacidades Tecnológicas das Organizações de Assistência Técnica e Extensão Rural e suas Transformações Digitais. Essa etapa foi conduzida por meio da utilização de descritores como estratégia de busca de trabalhos científicos nas seguintes bases de dados: Google Scholar, *Scopus*, *Science Direct* e Portal de Periódicos da Capes.

Foram selecionados artigos científicos e textos publicados no período de 2000 a 2025. A escolha do período dos anos 2000 até a atualidade é pertinente porque esse intervalo marca transformações estruturais, normativas e metodológicas relevantes no campo da ATER no Brasil e no mundo. Foram utilizadas as seguintes combinações de descritores em português: *agricultura familiar, assistência técnica e extensão rural, capacidade tecnológica, políticas públicas e inovação tecnológica*.

A triagem dos artigos foi realizada em três etapas sucessivas: (i) leitura dos títulos, com o objetivo de identificar a pertinência inicial ao tema da pesquisa; (ii) leitura dos resumos, visando verificar a aderência dos estudos ao escopo definido; e (iii) leitura integral dos textos selecionados, destinada à extração de dados e informações relevantes. Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas, com o propósito de facilitar a sistematização, a análise e a síntese dos resultados.

## DISCUSSÃO TEÓRICA

### **DESAFIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DAS ORGANIZAÇÕES DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL PARA ATUAÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0 E DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL**

O serviço de ATER no Brasil é uma atividade exercida pelos governos municipal e estadual, tendo em vista que a extensão é uma das funções do Estado. Albagli e Leitão (2020) destacam que as 27 unidades federativas brasileiras possuem entidades estaduais de ATER, vinculadas à Associação Brasileira das Entidades Estaduais de Assistência Técnica e Extensão Rural (Asbraer) (Figura 1).

**Figura 1 - Instituições de ATER nas 27 unidades federativas brasileiras e outras instituições de referência na área**



*Fonte: elaborado pela autora (2025), com base em Albagli e Leitão (2020).*

Essa ampla estrutura institucional e territorial confere à ATER um papel estratégico no apoio ao desenvolvimento rural. Entretanto, a atuação dessas organizações nos territórios passa a ser tensionada frente aos avanços tecnológicos advindos da Indústria 4.0 (também denominada de Quarta Revolução Industrial) associados à automação e ao tratamento de dados, inicialmente no âmbito industrial (Carvalho, 2022), mas com impactos crescentes no setor agropecuário e, conseqüentemente, nos serviços de ATER prestados aos agricultores familiares. Acrescenta-se ainda que esses avanços tecnológicos advindos da Indústria 4.0 tendem a reconfigurar práticas produtivas, organizacionais e institucionais no meio rural.

As tecnologias associadas à Indústria 4.0 impactam o meio ambiente de diferentes formas. Sob uma perspectiva positiva, essas tecnologias podem contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável, ao reduzir os impactos decorrentes do uso intensivo de defensivos químicos e incentivar sua substituição por insumos biológicos (Soares, 2023).

Diante dos avanços nas tecnologias da informação e da comunicação, torna-se imperativo que as organizações de ATER inovem continuamente, tanto em suas metodologias de trabalho quanto na gestão da informação e do conhecimento. Nesse contexto, a criação de sistemas integrados, incluindo informações sociais, econômicas, produtivas e ambientais, contribui para uma tomada de decisão mais alinhada à realidade da agricultura familiar.

Inovar na ATER implica, ainda, enfrentar entraves associados à crise socioambiental que afeta o meio rural brasileiro. As organizações que atuam com ATER no Brasil são desafiadas a investir em processos formativos contínuos, a valorizar os saberes locais dos agricultores familiares, promover a articulação e integração de políticas públicas e incorporar tecnologias da informação e comunicação como instrumentos para ampliar a eficiência, o alcance e o impacto das ações extensionistas.

A Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER) (Brasil, 2010) estabelece como um de seus objetivos centrais a promoção do desenvolvimento e da apropriação de inovações tecnológicas e organizativas adequadas ao público beneficiário, bem como sua integração ao mercado produtivo nacional (Inciso X). Embora formulada em um contexto anterior à Indústria 4.0, essa diretriz mantém-se atual ao evidenciar o papel estratégico da ATER na mediação entre inovação, organização produtiva e inserção econômica, impondo o desafio de adaptação às dinâmicas contemporâneas de transformação digital.

Alinhar os objetivos previstos no artigo 4º da PNATER constitui um eixo estratégico para o desenvolvimento de um instrumento de avaliação das capacidades tecnológicas das organizações de ATER. Essas diretrizes ultrapassam a dimensão operacional da extensão rural, ao contemplarem aspectos sociais, ambientais, econômicos, produtivos e institucionais. Assim, o modelo proposto nesta pesquisa pode considerar a aderência das organizações a metas como o desenvolvimento rural sustentável, o uso racional dos recursos naturais, o fortalecimento do associativismo e do cooperativismo e a integração entre ATER, pesquisa e inovação tecnológica. Esses elementos podem ser traduzidos em indicadores mensuráveis, capazes de refletir tanto as capacidades internas das instituições quanto sua efetividade externa.

Nesse sentido, a análise das capacidades tecnológicas requer parâmetros compatíveis com a realidade do segmento analisado, considerando as especificidades técnicas, produtivas, institucionais e territoriais de cada organização de ATER. Além disso, a mensuração das capacidades tecnológicas exige critérios mais amplos e adaptados às suas particularidades sociais, territoriais e culturais, tendo em vista que essas organizações atuam em contextos heterogêneos quanto à infraestrutura, aos recursos humanos e ao acesso a tecnologias, além de atenderem públicos diversos.

Nesse contexto, Andrade e Figueiredo (2008) distinguem as capacidades tecnológicas em rotineiras e inovadoras. As capacidades rotineiras relacionam-se à eficiência na execução de atividades produtivas, enquanto as capacidades inovadoras referem-se à geração e à gestão de mudanças tecnológicas nas organizações. No caso da ATER, as atividades rotineiras podem ser exemplificadas pela orientação contínua sobre preparo do solo, manejo de culturas e rotação de plantios, baseadas em práticas consolidadas e adaptadas à realidade local. Já as capacidades inovadoras podem ser ilustradas pelo desenvolvimento e implementação de ferramentas digitais colaborativas, como aplicativos móveis voltados ao registro

de dados produtivos, ao acesso a recomendações técnicas personalizadas e à conexão com mercados locais.

Essas ações dialogam diretamente com os objetivos da PNATER e do Pronater, especialmente aqueles relacionados à promoção da inovação tecnológica, à integração com a pesquisa e à aproximação entre o meio rural e o conhecimento científico (Brasil, 2010). Ademais, essas políticas não se restringem às dimensões técnico-produtivas ao incorporarem princípios como sustentabilidade ambiental, gratuidade dos serviços, participação democrática dos beneficiários e fortalecimento da cidadania, conforme disposto no artigo 3º da Lei nº 12.188/2010.

Por fim, embora a PNATER estabeleça critérios para a contratação e avaliação dos serviços de ATER, observa-se que ainda há lacunas no que se refere aos mecanismos de acompanhamento e avaliação voltados especificamente aos processos de inovação tecnológica, bem como à incorporação da percepção dos agricultores sobre a qualidade e a efetividade dos serviços prestados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa confirmam que o acúmulo e a consolidação das capacidades tecnológicas são essenciais para o fortalecimento das organizações de ATER. Esse processo envolve aspectos como diagnóstico institucional, planejamento estratégico, qualificação de pessoal e atuação contextualizada às realidades territoriais, regionais e locais.

Os resultados encontrados nesta pesquisa apontaram uma lacuna na literatura no que se refere a estudos que examinem, de forma sistemática, as capacidades tecnológicas das organizações

responsáveis pela prestação de serviços de ATER a agricultores familiares no contexto brasileiro.

Verifica-se que as pesquisas sobre capacidades tecnológicas se concentram majoritariamente nos setores industriais e empresariais, o que evidencia uma lacuna significativa no que se refere às organizações que prestam serviços de ATER. Essa constatação reforça a necessidade de aprofundar investigações que considerem as especificidades desse setor, bem como estratégias para o fortalecimento institucional e o aperfeiçoamento dos serviços prestados por estas organizações aos agricultores familiares brasileiros.

## SUMÁRIO

## REFERÊNCIAS

ALBAGLI, S.; LEITÃO, L. A. **Estudo sobre capacitação de assistência técnica e extensão rural para tecnologias de agricultura de baixo carbono no Semiárido (Sumário executivo)**. Relatório técnico. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, 2020.

ANDRADE, R. F. de; FIGUEIREDO, P. C. N. **Acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras em subsidiárias de empresas transnacionais (ETNs) em economias emergentes: o caso da Motorola Brasil**. [S./]: ANPAD, 2008. Trabalho apresentado no EnANPAD – Encontro da ANPAD. Disponível em: [https://arquivo.anpad.org.br/abrir\\_pdf.php?e=OTEwMA==](https://arquivo.anpad.org.br/abrir_pdf.php?e=OTEwMA==). Acesso em: 26 dez. 2025.

BELL, M.; PAVITT, K. **The development of technological capabilities**. Trade, Technology and International Competitiveness, [S./], v. 22, n. 4831, p. 69-101, 1995.

BRASIL. **Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010**. Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária – PNATER. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12188.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12188.htm). Acesso em: 2 dez. 2024.

CARVALHO, C. Indústria 4.0: o que é, quais seus benefícios e impactos. **Produtivo**, 20 dez. 2022. Disponível em: <https://www.produtivo.com.br/blog/industria-4-0-tecnologias-para-otimizar-processos/>. Acesso em: 5 dez. 2025.

CORRÊA DA SILVA, H. B.; CARTES PATRÍCIO, C. **Fortalecimento da agricultura familiar e desenvolvimento sustentável**. 2022. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc1805pt>. Acesso em: 25 set. 2024.

FIGUEIREDO, P. N. **Gestão da inovação**: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

FIGUEIREDO, V.; FIGUEIREDO, M. **Gestão do conhecimento**. Conselho Editorial, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro\\_2006.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf). Acesso em: 4 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html>. Acesso em: 4 jun. 2025.

KRUEGER, M. H.; ANDRADE, A. T. de; SOARES, C. E. V. F. A indústria 4.0 e suas revoluções nos setores da biotecnologia e agricultura. **Zenodo**, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.8312424. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8312424>. Acesso em: 26 dez. 2025.

LALL, S. Technological capabilities and industrialisation. **World Development**, [S./], v. 20, n. 2, p. 165-186, 1992.

PEIXOTO, M. **Extensão Rural no Brasil e uma abordagem histórica da legislação**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado, 2008. p. 1-50.

SILVA, B. H. de Oliveira; SANTOS, B. S. dos. Agricultura digital: desafio da conectividade no campo para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 140-163, jun. 2024. ISSN 1981-4089.

SOARES, C. E. V. F. Mini revisão: leveduras não convencionais com potencial biotecnológico para aplicação de bioinsumos. **Revista OWL (OWL Journal)**, [S./], v. 1, n. 2, p. 197-213, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.8271234.

# 7

*Herman Augusto Lepikson*

**ARQUITETURA ESCALÁVEL  
E GENERALIZÁVEL PARA  
EVOLUÇÃO DE SISTEMAS  
LEGADOS AOS NOVOS  
PARADIGMAS DA INDÚSTRIA 4.0**

## INTRODUÇÃO

Certamente, um dos problemas mais críticos que a indústria enfrenta hoje é manter-se competitiva em um contexto de rápidas e profundas transformações. Se, historicamente, se projetava produtos visualizando mercados para mais de 10 anos e se organizava os sistemas produtivos para tanto, hoje premissas como essas não mais se sustentam. O telefone fixo foi uma revolução na comunicação e perdurou por mais de um século. O celular se mostrou opção bem mais acessível e eficaz de quinze anos para cá, tornando obsoleta a cara e ineficiente tecnologia analógica. Mas o celular já está com os dias contados (Olhar Digital, 2019; Exame, 2022). As tecnologias que buscam substituí-lo já estão emergindo, como os óculos inteligentes (vide Ray-Ban Meta, Oakley Meta, Huawei Eyewear, Galaxy XR2 e Android XR), ou os ensaios de novas abordagens, como o Humane AI Pin (R&BTech, 2025), o Rabbit r1 (Rabbit, 2025), ou o AlterEgo (MIT Media Lab, 2025). Outras novidades estão por vir. Algumas se mostram inviáveis ou adiante do seu tempo, como a iniciativa do então Facebook, que apelidou de Metaverso. Mudou até o nome da empresa para identificá-la com essa “revolução”, contratou 10 mil novos colaboradores em 2021 para desenvolver o seu metaverso e já demitiu a metade em 2023. E 2025 tem sido o ano da decisão sobre o seu futuro, segundo a própria Meta (Investing.com, 2025).

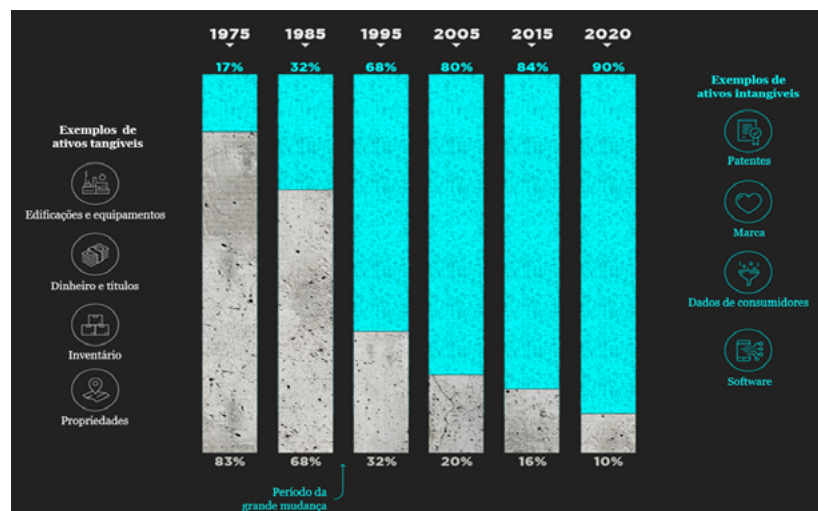
Fato é que a realidade hoje imposta às organizações é outra, mais desafiadora e marcada por incertezas.

Importa também observar que o cenário de observação mudou drasticamente nos últimos anos. A indústria sempre se baseou nas suas naturais barreiras de entrada, baseadas nos seus ativos tangíveis, como as suas caras instalações e produtos que levaram anos para serem desenvolvidos, a custos muito altos. Tipicamente, um automóvel levava até cinco anos entre sua concepção até ser colocado

no mercado a custos altíssimos de projeto, prototipagem e ferramental, e fabricado em instalações caríssimas e complexas.

Mas isso vem mudando drástica e rapidamente. A Figura 1 mostra a evolução do valor das empresas, da valoração dos bens tangíveis para os intangíveis.

**Figura 1** - Evolução do valor dos ativos tangíveis x intangíveis das organizações



Fonte: Visual Capitalist, *The Soaring Value of Intangible Assets in the S&P 500*.

Como explicar, por exemplo, que a “Tesla já vale mais que todas as montadoras tradicionais juntas” (CNN, 2021)? E, três anos depois, que “Elon Musk não consegue resolver a crise da Tesla na China com sua visita desesperada à Ásia” (Wired, 2024). Ou a declaração do presidente da Ford, em setembro de 2024, de que “As montadoras chinesas estão se movendo na velocidade da luz”? (The Wall Street Journal, 2024).

Este é um simples reflexo da situação da mais importante e maior indústria do século 20 até o início do 21. Mas os fatos vão além: os veículos autônomos dispensarão ter carros, o que alterará esse

consumo como bem de status. Para completar, a atual geração não prioriza mais ter carros! (Statista, 2025).

Muitas outras mudanças afetarão também outras indústrias. Mais idosos, menos nascimentos. Novas oportunidades, novos desafios. A disrupção tecnológica já está fazendo com que muitos modelos tradicionais de negócio simplesmente desapareçam, vide Kodak e seus filmes celulósicos, ou IBM e seus *mainframes*, entre muitos. Quem se arriscará, hoje, a montar uma empresa para produzir bombas de combustível ou impressoras? Apenas as que enxergarem novos nichos promissores.

As palavras-chave do momento são agilidade, flexibilidade e inovação. Ou seja, agir rápido, mudar constantemente e inovar à frente de uma concorrência que pode nem se ter vislumbrado ainda.

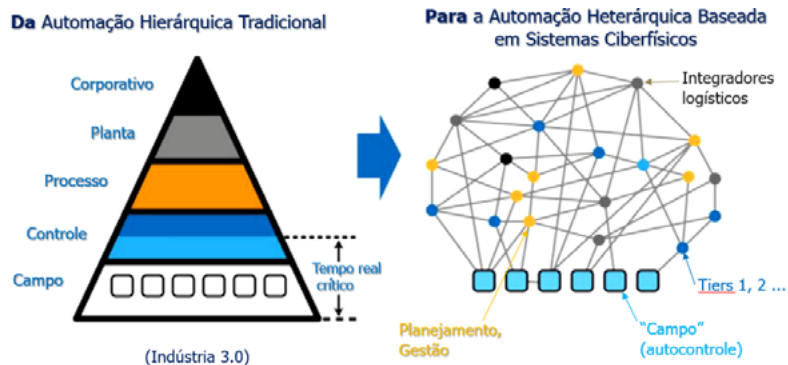
A contradição maior é que apenas uma minoria dos dirigentes das organizações está alinhada com essas mudanças. A grande maioria avança lentamente, limitada por mentalidades e processos de liderança que levam à inércia (PwC, 2025).

## ORGANIZAÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS PARA A ERA DIGITAL

Este artigo não trata dos problemas de estruturas legadas, mas apresenta caminhos para que as empresas industriais possam ser ágeis, flexíveis e inovadoras, aproveitando as oportunidades trazidas pelas novas tecnologias digitais (indústria 4.0).

Um primeiro aspecto a considerar é o da transição dos modelos tradicionais de gestão do sistema de produção, hierárquicos, para heterárquicos (Figura 2).

**Figura 2** - Evolução dos modelos hierárquicos para o heterárquicos na indústria



Fonte: adaptado de Negri et al. (2020).

Como se pode observar na Figura 2, a indústria que incorporou as tecnologias de automação (indústria 3.0) opera com base no modelo piramidal. O chão de fábrica, constituído por robôs, CLPs e CNCs, reporta-se ao SCADA (supervisory and data acquisition system) para controle. O SCADA, por sua vez, entrega para o MES (manufacturing execution system) o gerenciamento da produção e a integração com o sistema logístico de fornecimento e de distribuição. O ERP (enterprise resources planning) comanda o sistema corporativo. Interessante observar que o ERP se tornou um dos maiores entraves à evolução para a indústria 4.0 (Casanova et al., 2019).

A evolução para a automação heterárquica, característica da indústria 4.0, pressupõe um maior nível de inteligência computacional, outorgando a cada um dos atores dos processos maior autonomia e poder de decisão local. As relações entre entidades passam a ser baseadas em negociação orientada a serviços e considerando um conceito de tempo real autodeterminado pelas necessidades locais, sem deteriorar o desempenho global do sistema. Esse sistema descentralizado pressupõe cooperação entre as entidades envolvidas. A resolução de conflitos precisa ser tratada como parte intrínseca desse novo modelo operacional. Produção e manutenção

precisam resolver seus problemas de relacionamento de acordo com as prioridades que visualizam todo o sistema produtivo.

## REORGANIZANDO A ORGANIZAÇÃO PARA AS TECNOLOGIAS DIGITAIS

Se a resolução de conflitos já é um problema na indústria 3.0 (e pior ainda na 2.0 que ainda vige em muitas organizações), imagine-se no modelo heterárquico que engloba também fornecedores, distribuidores e operadores logísticos com culturas organizacionais diferentes, que passam a ser vistos como parceiros externos. O desafio da integração de sistemas é certamente um dos maiores a ser enfrentado na migração para a indústria 4.0.

Integrar implica comunicar. A IIoT (*industrial internet of things*) assume uma função relevante, principalmente quando se observa que os sistemas legados da indústria 3.0 são proprietários, baseados em tecnologias de terceiros que fazem de tudo para manter os usuários dependentes de seus sistemas. Se os CLPs da empresa usuária 3.0 são do fornecedor X, ela já sabe que terá um enorme trabalho adicional se tentar migrar para um fornecedor Y. A adoção de modelos e sistemas abertos e interoperáveis torna-se imperativa. O domínio dos fornecedores tem que passar para os usuários. Padrões abertos como RAMI, STEP, STL, OPC-UA precisam ser considerados ao especificar softwares e sistemas aderentes à arquitetura agnóstica demandada pela indústria 4.0.

Outro aspecto a considerar é que o ambiente fabril impõe limitações de várias ordens, desde as necessidades de respostas determinísticas, de interferências eletromagnéticas, até o dilema de redes cabeadas x *wireless*. Projetos robustos, mas flexíveis e escaláveis de IIoT são indispensáveis, considerando a tendência inevitável

por sistemas cada vez mais distribuídos, processados por sistemas de computação na nuvem e na borda.

Imagine-se um centro de usinagem integrado em um ambiente 4.0. Ele deve ser capaz de tomar decisões autônomas em emergências, como, por exemplo, a quebra de ferramenta. Isso exige um esforço computacional razoável e respostas extremamente rápidas, da ordem de  $\mu\text{s}$ . Mas ele deve também ser parte ativa das tomadas de decisão, não apenas para diagnósticos, mas também para ações preditivas e prescritivas de operação e manutenção. Para tanto, necessita-se de um sistema computacional potente, apto a operar algoritmos avançados de inteligência artificial (IA) apoiados em *big data* e que possa servir a todos os equipamentos e sistemas similares, operando em nuvem. O trabalho de Figueiredo e Lepikson (2025) ilustra uma proposta nesse sentido, voltada à manutenção preditiva e prescritiva de máquinas-ferramenta.

E quanto mais evoluem os sistemas IIoT, mais preocupantes se tornam os problemas de cibersegurança. Um estudo recente de Silva (2022) mostrou que a resiliência dos sistemas industriais nas empresas industriais é extremamente falha. Testes em empresas de referência identificaram que mais de 40% dos sistemas IIoT estavam vulneráveis a ataques cibernéticos. Mas os sistemas de produção precisam assegurar operação contínua, inclusive a bem da sua própria segurança. O desafio maior é implementar uma estratégia de atuação contra ciberrisco segura, vigilante e resiliente. Ou seja, capaz de prevenir ataques, de atuar de forma efetiva em caso de ataques e de garantir a segurança dos sistemas após ataques, independentemente de falhas em componentes individuais, legados ou novos.

Figueiredo e Lepikson (2025) também mostram o potencial dos gêmeos digitais (GDs) para integração avançada entre os mundos real e digital. Os simuladores da indústria 3.0 já traziam ótimos recursos para avaliação de desempenho de produtos e processos. Dados e variáveis que eram inseridos permitiam avaliar resultados

e inferir as melhores possibilidades a serem implementadas nos projetos ou processos. O avanço na digitalização da indústria 4.0 apresenta uma oportunidade que vai além dos simuladores, os GDs. Trata-se de um recurso ainda em evolução, mas capaz de interagir dinamicamente com o mundo real. O centro de usinagem comentado acima agora interage com o seu GD, que lhe devolve parâmetros ótimos de operação que, por exemplo, evitem a quebra da ferramenta sem comprometer o seu desempenho.

O potencial dos GDs é enorme, mas depende intrinsecamente de estar integrado a recursos de IA adequados a cada finalidade, como algoritmos genéticos, redes bayesianas, aprendizado de máquina e aprendizado profundo, entre outros. Convém observar que as ferramentas de IA generativa são uma classe particular de aprendizado profundo, mas, ainda assim, de aproveitamento periférico em GDs. Exemplos interessantes de interação GD-IA podem ser vistos em Zhang (2025) e Lossie (2025).

Outra tecnologia promissora da indústria 4.0 é o *blockchain*. Nascido como motor do Bitcoin, mostrou-se uma ferramenta poderosa e segura para a operação e o registro imutável de transações, sem necessidade de uma autoridade externa para validar a autenticidade e a integridade dos dados transacionados. Uma explicação sintética de como funciona pode ser encontrada em McKinsey (2022). Oliveira Jr. (2021) apresentou uma solução interessante para acompanhamento e fiscalização de obras na construção civil. Este trabalho mostrou o potencial de simplificação e de garantia de lisura do processo de fiscalização. Foi testado e demonstrado em aplicação real, elogiado, mas não depois implantado, como na maioria dos casos promissores que expõem os atores à realidade imutável e rastreável.

Robótica autônoma, manufatura aditiva e realidade estendida são outras tecnologias digitais importantes a serem consideradas, mas não são detalhadas aqui por já serem hoje mais bem conhecidas e difundidas na indústria.

## REORGANIZANDO A ORGANIZAÇÃO PARA AS TECNOLOGIAS DIGITAIS

A Planta de Manufatura Avançada (PMA) do Senai Cimatec tem servido como demonstradora das principais tecnologias digitais, com potencial inovador para as organizações industriais que estão dispostas a evoluir na indústria 4.0. Cruz (2024) apresenta um modelo desenvolvido de arquitetura do sistema produtivo com habilidades inteligentes e adaptativas que pode ser replicável em manufaturas discretas ou em bateladas. Carvalho Filho (2024) acrescenta uma importante contribuição sobre o sistema de gerenciamento de dados demandado pelas novas arquiteturas da indústria 4.0. Conceição (2024) introduz um modelo de relacionamento da cadeia de fornecimento sob a perspectiva do cliente, usuário do sistema, ao visualizar a tendência da manufatura para produtos cada vez mais personalizados. Importante observar que todos esses trabalhos de pesquisa, implementados na PMA, foram realizados em estreita colaboração entre a Universidade Senai Cimatec e a Universidade Federal da Bahia.

## CONCLUSÃO

Este capítulo procurou apresentar algumas provocações aos interessados em evoluir na implementação das tecnologias digitais da indústria 4.0, visando sensibilizá-los à ação diante dos principais obstáculos à sua efetivação. Mas trouxe também elementos-chave para orientar projetos, sem entrar nas particularidades de cada organização. O segredo é não se arvorar em projetos ambiciosos, pois o tempo para a maturação das novas abordagens é parte necessária ao aprendizado. Inicie-se, então, por projetos-piloto representativos, com potencial de resultados mais imediatos, inclusive para motivação das equipes no processo de transformação digital.

## REFERÊNCIAS

CASANOVA, D. *et al.* **Agile in enterprise resource planning: a myth no more.** [S. l.]: McKinsey Digital, ago. 2019.

CARVALHO FILHO, P. H. F. **Uma proposta para integração baseada em dados para gestão e controle inteligente de manufatura discreta e distribuída.** 2024. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2024.

CNN BRASIL BUSINESS. **Tesla já vale mais que todas montadoras tradicionais juntas; receita está longe.** 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/2021/01/14/tesla-ja-vale-mais-que-todas-montadoras-tradicionais-juntas-receita-esta-longe>. Acesso em: 26 dez. 2025.

CONCEIÇÃO, E. G. **Um método para gerenciamento inteligente de uma linha de montagem flexível para produtos personalizados.** 2024. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2024.

CRUZ, J. R. SAMON. **Uma arquitetura para operação dos sistemas de manufatura com habilidades inteligentes e adaptativas.** 2024. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2024.

EXAME NEGÓCIOS. **6G, fim dos celulares e gêmeos digitais: as previsões do CEO da Nokia para 2030.** [S. l.], 24 maio 2022.

FIGUEIREDO, M. V. R.; LEPIKSON, H. A. A methodology for the implementation of digital twins in CNC machine tools for predictive maintenance. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 28., 2025. **Anais** [...]. [S. l.]: ABCM, nov. 2025.

INVESTING.COM. **Meta define 2025 como ano decisivo para sucesso do metaverso.** 2025. Disponível em: <https://br.investing.com/news/stock-market-news/meta-define-2025-como-ano-decisivo-para-sucesso-do-metaverso--business-insider-93CH-1451286>. Acesso em: 26 dez. 2025.

LOSSIE, K. *et al.* Using a digital twin and smart services to enable automatic generation of context-sensitive instructions. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2025.10.007>.

MCKINSEY EXPLAINERS. **What is blockchain?** [S. l.]; McKinsey Report, dez. 2022.

MIT MEDIA LAB. **Title of the video.** 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RuUSc53Xpeg>. Acesso em: 26 dez. 2025.

NEGRI, E. *et al.* MES-integrated digital twin frameworks. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 56, p. 58-71, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.007>.

OLHAR DIGITAL. **Ninguém mais vai usar smartphone em cinco anos, diz Samsung.** 2019. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2019/07/02/noticias/samsung-diz-que-ninguem-usara-smartphones-em-cinco-anos/>. Acesso em: 26 dez. 2025.

OLIVEIRA JR., M. A. S. **Implantação da tecnologia blockchain para elevar a confiança dos fluxos de informações na indústria da construção civil.** 2021. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2021.

PWC. **PwC's 28th Annual Global CEO Survey: reinvention on the edge of tomorrow.** [S. l.]; PwC, 2025.

R&BTECH. **Humane AI Pin: o que é e por que virou tendência?** 2025. Disponível em: <https://www.rebtech.com.br/humane-ai-pin-o-que-e-e-por-que-viceu-tendencia/>. Acesso em: 26 dez. 2025.

RABBIT. **Rabbit r1.** 2025. Disponível em: <https://www.rabbit.tech/rabbit-r1>. Acesso em: 26 dez. 2025.

SILVA, M. F. S. **ASTRIS: uma proposta de método de avaliação de resiliência quanto à cibersegurança em redes de internet das coisas industriais.** 2022. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2022.

STATISTA. **Generation Z and the automotive market: statistics & facts.** 2025. Disponível em: <https://www.statista.com/topics/12104/generation-z-and-the-automotive-market/>. Acesso em: 26 dez. 2025.

VISUAL CAPITALIST. **The Soaring Value of Intangible Assets in the S&P 500.** 2025. Disponível em: <https://www.visualcapitalist.com/the-soaring-value-of-intangible-assets-in-the-sp-500/>. Acesso em: 26 dez. 2025.

THE WALL STREET JOURNAL. **What Scared Ford's CEO in China.** 2025. Disponível em: <https://www.wsj.com/business/autos/ford-china-ev-competition-farley-ceo-50ded461>. Acesso em: 26 dez. 2025.

WIRED. **Elon Musk Can't Solve Tesla's China Crisis With His Desperate Asia Visit.** 2024. Disponível em: [https://www.wired.com/story/elon-musk-cant-solve-teslas-china-crisis-with-his-desperate-asia-visit/?bxiid=5cec253ffc942d3ada0ab4ee&cndid=54862089&esrc=bounceX&source=Email\\_0\\_EDT\\_WIR\\_NEWSLETTER\\_0\\_DAILY\\_ZZ&utm\\_brand=wired&utm\\_mailing=WIR\\_Daily\\_043024](https://www.wired.com/story/elon-musk-cant-solve-teslas-china-crisis-with-his-desperate-asia-visit/?bxiid=5cec253ffc942d3ada0ab4ee&cndid=54862089&esrc=bounceX&source=Email_0_EDT_WIR_NEWSLETTER_0_DAILY_ZZ&utm_brand=wired&utm_mailing=WIR_Daily_043024). Acesso em: 26 dez. 2025.

ZHANG, C. *et al.* Multi-agent systems for digital twin shop-floor resilient control. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, [s. l.], 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjme.2025.100206>.

## SUMÁRIO

# 8

*Sanval Ebert de Freitas Santos  
Ingrid Winkler*

## **ARQUITETURA DA APRENDIZAGEM INTELIGENTE:**

**CONSTRUINDO UM MODELO CONCEITUAL  
PARA AMBIENTES VIRTUAIS  
DE ENSINO E APRENDIZAGEM  
COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

## INTRODUÇÃO

O panorama educacional contemporâneo é marcado por uma transformação digital acelerada, na qual os Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem (AVEA) assumem papel central na mediação dos processos de ensino e aprendizagem. A Inteligência Artificial (IA) tem sido incorporada a esses ambientes como um conjunto de técnicas computacionais voltadas à personalização do ensino, ao monitoramento do desempenho e ao engajamento dos estudantes, possibilitando *feedback* automatizado e adaptação curricular em tempo real (Santos, 2025). Por meio do processamento de dados educacionais, sistemas baseados em IA podem ajustar conteúdos, atividades e intervenções pedagógicas de acordo com os perfis e o desempenho dos estudantes.

Apesar desse avanço, a literatura científica ainda carece de modelos conceituais que organizem de forma sistemática a integração das técnicas de IA aos AVEA. A predominância de aplicações isoladas, como tutores inteligentes e sistemas de recomendação, sem um arcabouço teórico-prático unificado, limita a coerência, a replicabilidade e a avaliação científica dessas soluções. Essa lacuna evidencia a necessidade de uma abordagem sistêmica que articule aspectos computacionais, pedagógicos, sociais e éticos na incorporação da IA à educação.

Diante desse contexto, esta investigação propõe o desenvolvimento de um modelo conceitual para AVEA com IA, voltado à estruturação integrada de componentes técnicos e pedagógicos que apoiem o design, a implementação e a avaliação de ambientes educacionais inteligentes. Para isso, a pesquisa é organizada em três etapas: revisão sistemática da literatura, desenvolvimento do modelo com base na Design Science Research e validação por especialistas, cujos resultados são apresentados nas seções subsequentes (Santos, 2025).

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: MAPEANDO O TERRENO DA IA NA EDUCAÇÃO

A construção de um modelo conceitual requer uma compreensão sistemática do cenário científico existente. A primeira fase desta investigação consistiu em uma revisão sistemática da literatura, conduzida segundo o protocolo PRISMA, com o objetivo de identificar, organizar e analisar criticamente o conhecimento produzido sobre a utilização de agentes inteligentes em Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem (AVEA) (Santos, 2025). A busca foi realizada nas bases de dados Scopus, Web of Science e IEEE Xplore, utilizando descritores em português e inglês, como “agentes inteligentes” e “ambientes virtuais de ensino e aprendizagem”, de modo a maximizar a cobertura temática e a precisão dos resultados.

A seleção dos estudos seguiu critérios explícitos de inclusão e exclusão, resultando em um *corpus* de artigos submetidos à análise qualitativa. Os resultados indicaram um crescimento sustentado das publicações relacionadas ao uso de IA em AVEA, com aplicações que incluem personalização de conteúdos, fornecimento de *feedback* adaptativo e suporte à avaliação formativa (Santos, 2025). Foram identificados diferentes tipos de agentes inteligentes, tais como agentes pedagógicos, agentes de interface e agentes de monitoramento, cada um associado a funções específicas dentro do ecossistema de aprendizagem digital.

A análise também revelou a ampliação do uso de técnicas de IA para análise preditiva do desempenho estudantil e desenvolvimento de tutores virtuais baseados em dados, indicando uma tendência à incorporação de métodos de *learning analytics* e *educational data mining* nos AVEA (Santos, 2025). Entretanto, observou-se que grande parte desses trabalhos descreve implementações técnicas isoladas, sem articular explicitamente os fundamentos pedagógicos,

as implicações éticas e as restrições contextuais associadas às diferentes realidades educacionais, como diversidade cultural, infraestrutura tecnológica e políticas institucionais (Unesco, 2021).

Nesse sentido, a literatura aponta para a necessidade de modelos conceituais que não apenas descrevam componentes computacionais, mas que organizem de forma integrada os elementos pedagógicos, tecnológicos e sociais que estruturam os AVEA com IA. A ausência de um arcabouço teórico-prático unificado para orientar essa integração constitui uma lacuna relevante, uma vez que dificulta a comparação entre estudos, a replicação de soluções e a avaliação sistemática dos impactos da IA na aprendizagem.

A análise de quinze trabalhos correlatos permitiu observar que o uso de agentes inteligentes em AVEA tem sido associado a melhorias no desempenho docente e discente, conforme sintetizado na Tabela 1. Esses estudos abrangem desde sistemas de tutoria inteligente e mineração de dados educacionais até arquiteturas baseadas em agentes e abordagens de gamificação, evidenciando a diversidade de estratégias técnicas e pedagógicas adotadas no campo. No entanto, apesar dessa diversidade, os trabalhos analisados tendem a abordar componentes específicos da interação entre IA e aprendizagem, sem propor uma arquitetura conceitual abrangente que integre essas dimensões em um único modelo de referência.

**Tabela 1 – Resultados**

Id	Trabalhos correlatos	Objetivo
01	Akyuz (2020)	Tutoria inteligente aplicada à aprendizagem personalizada.
02	Asif <i>et al.</i> (2017)	Mineração de dados educacionais para análise de desempenho.
03	Costa e Fernandes (2021)	Planejamento pedagógico automatizado com algoritmos genéticos.
04	Freitas <i>et al.</i> (2021)	Arquitetura de AVEA baseada em agentes inteligentes.
05	Yağcı (2022)	Predição de desempenho acadêmico com aprendizado de máquina.
06	Palomino (2022)	Gamificação e experiência do usuário em AVEA.

## SUMÁRIO

Id	Trabalhos correlatos	Objetivo
07	Parreira <i>et al.</i> (2021)	Percepções docentes sobre IA na educação.
08	Reis <i>et al.</i> (2018)	Tutores inteligentes com detecção de emoções.
09	S. Alserhan <i>et al.</i> (2023)	AVEA baseado em sistemas de gestão da aprendizagem.
10	Silva e Cruz (2017)	Predição de perfis discentes com redes neurais.
11	Santos <i>et al.</i> (2021)	Integração entre IA e virtualização no ensino.
12	Sharma e Harkishan (2022)	Tutoria inteligente para ensino de programação.
13	Vivian <i>et al.</i> (2022)	Mineração de dados e análise de sentimentos em AVEA.
14	Zawacki-Richter <i>et al.</i> (2019)	Revisão sistemática sobre IA no ensino superior.
15	Zem (2017)	Avaliação de qualidade em sistemas educacionais baseados em web semântica.

*Fonte: autores.*

Em síntese, a revisão sistemática forneceu os subsídios teóricos e empíricos necessários para delimitar o espaço do problema de pesquisa, identificar lacunas estruturais na literatura e fundamentar a etapa subsequente de desenvolvimento do modelo conceitual. Em vez de constituir um fim em si mesma, a revisão operou como base analítica para a construção de um referencial que respondesse às limitações observadas nos estudos existentes, assegurando o alinhamento do modelo proposto às demandas científicas e educacionais do campo (Santos, 2025).

## ARQUITETANDO A INOVAÇÃO PEDAGÓGICA COM MODELO CONCEITUAL DE AVEA COM IA

Com base nas lacunas identificadas na revisão sistemática, a pesquisa avançou para o desenvolvimento de um modelo conceitual

para Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem com Inteligência Artificial, descrito em *Modelo Conceitual para Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem com Inteligência Artificial* (Santos, 2025). A construção do modelo foi fundamentada na abordagem Design Science Research (DSR), que **estrutura o desenvolvimento de artefatos científicos por meio de ciclos iterativos de identificação de problemas, proposição de soluções, avaliação e refinamento**, articulando produção teórica e desenvolvimento aplicado (Santos, 2025; Peffers *et al.*, 2007). No contexto dos AVEA, a DSR orientou a proposição de um modelo voltado à **organização sistemática das funções de personalização, engajamento e monitoramento educacional mediadas por IA**.

O modelo conceitual está estruturado em quatro dimensões funcionais inter-relacionadas. A **personalização** refere-se à adaptação de conteúdos, atividades e ritmos de aprendizagem com base na análise de perfis, estilos cognitivos, preferências e desempenho, utilizando sistemas de recomendação e técnicas de processamento de linguagem natural (Santos, 2025). A dimensão de **engajamento** envolve o uso de agentes inteligentes para fornecer *feedback* adaptativo e recursos de gamificação, como pontos, distintivos e *rankings*, com o objetivo de **sustentar a participação dos estudantes ao longo do processo de aprendizagem** (Palomino, 2022; Santos, 2025).

A dimensão de **monitoramento** compreende a coleta e análise contínua de dados sobre o comportamento dos estudantes, incluindo tempo de acesso, padrões de navegação, respostas a atividades e participação em fóruns, possibilitando a identificação de dificuldades e riscos de evasão (Santos, 2025). De forma complementar, a **análise de desempenho** utiliza técnicas de *machine learning*, *deep learning* e *data mining* para transformar esses dados em informações que apoiam a tomada de decisão pedagógica, o ajuste curricular e a gestão dos recursos educacionais (Santos, 2025).

Essas dimensões são sustentadas por componentes técnico-pedagógicos que integram redes neurais artificiais, processamento de linguagem natural e sistemas de recomendação, formando uma arquitetura interdependente na qual os processos de monitoramento e análise de desempenho alimentam os mecanismos de personalização e engajamento. O Apêndice A **representa graficamente essa arquitetura**, evidenciando a lógica de realimentação contínua do ciclo de aprendizagem mediado por IA (Santos, 2025).

Ao oferecer um referencial estruturado para a integração da IA em AVEA, o modelo **define uma arquitetura conceitual para a implementação de sistemas educacionais baseados em dados**, permitindo que ambientes de aprendizagem sejam projetados, analisados e ajustados de forma consistente com seus objetivos pedagógicos (Santos, 2025).

## VALIDAÇÃO E IMPLICAÇÕES DO MODELO

A validação do modelo conceitual foi conduzida por meio de uma abordagem qualitativa, utilizando o método **Vali-Quali**, proposto por Torlig *et al.* (2022), que estrutura a avaliação em duas dimensões – conteúdo e semântica – analisadas segundo os critérios de alinhamento aos objetivos do estudo, aderência aos construtos teóricos, clareza da linguagem e expectativa qualitativa (Torlig *et al.*, 2022; Santos, 2025). **Esse procedimento permitiu avaliar a consistência conceitual e a clareza do modelo a partir de diferentes especialidades envolvidas na mediação educacional com IA.**

O processo de validação envolveu especialistas com perfis complementares nas áreas de pedagogia, ciência da computação, análise de dados e gestão educacional, **conforme sintetizado na Tabela 2**, os quais analisaram o modelo conceitual e forneceram

avaliações qualitativas e quantitativas sobre sua estrutura e potencial de aplicação. A coleta de dados foi realizada por entrevistas semiestruturadas e questionários, e os resultados foram analisados por meio de análise de conteúdo, permitindo identificar convergências, divergências e sugestões de aprimoramento (Santos, 2025).

**Tabela 2 – Perfis dos Participantes da Validação**

<b>Perfil</b>	<b>Descrição</b>
Professores	Docentes com experiência em ensino presencial, híbrido ou EaD.
Especialistas em IA	Pesquisadores ou profissionais com conhecimento técnico em IA.
Especialistas em Dados	Atuação em análise e mineração de dados educacionais.
Gestores Educacionais	Responsáveis pela gestão de processos acadêmicos.
Gestores de Sistemas	Administração de plataformas tecnológicas educacionais.

*Fonte: autores.*

Os resultados da validação indicaram coerência entre as quatro dimensões do modelo e os objetivos educacionais associados, além de apontarem a necessidade de ajustes, como maior explicitação dos fundamentos pedagógicos, aprofundamento da discussão sobre ética e governança de dados e consideração de contextos com diferentes níveis de infraestrutura tecnológica (Santos, 2025).

Como desdobramento prático, o modelo conceitual foi implementado na plataforma web InteliEduca, que representa interativamente sua estrutura e funciona como um protótipo para ampliar sua acessibilidade e aplicabilidade em cenários educacionais reais, demonstrando sua viabilidade em ambientes de nuvem como AWS, Azure e Google Cloud (Santos, 2025; Siemens; Gasevic, 2012). As implicações do modelo incluem a disponibilização de um referencial teórico-operacional para o desenvolvimento, implementação e avaliação de sistemas inteligentes em AVEA, apoiando educadores, desenvolvedores e gestores na integração da IA aos processos educacionais de forma estruturada (Santos, 2025).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo desenvolver um referencial para a aplicação da Inteligência Artificial (IA) em Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem (AVEA), articulando revisão sistemática, proposição de um modelo conceitual e validação empírica, de modo a estabelecer uma base teórico-metodológica para a integração da IA em contextos educacionais (Santos, 2025). A revisão sistemática identificou tendências e lacunas da literatura, subsidiando a construção de um modelo fundamentado na DSR, organizado em quatro dimensões que estruturam a mediação pedagógica orientada por dados (Santos, 2025).

A validação qualitativa, conduzida pelo método Vali-Quali, examinou a consistência conceitual e a aderência teórica do modelo, incorporando contribuições de especialistas, com ajustes relacionados aos fundamentos pedagógicos, à ética e à governança de dados (Torlig *et al.*, 2022; Santos, 2025). Como desdobramento aplicado, a plataforma InteliEduca operacionalizou o modelo em um ambiente computacional, demonstrando sua implementação em infraestruturas de nuvem e seu uso como suporte à formação, à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento de soluções educacionais baseadas em IA (Santos, 2025; Siemens; Gasevic, 2012).

As contribuições do estudo abrangem os planos teórico, metodológico e aplicado, ao oferecer um arcabouço para a organização das funções da IA em AVEA, demonstrar a aplicabilidade da DSR e fornecer diretrizes para o desenvolvimento e a avaliação de sistemas educacionais baseados em dados (Santos, 2025). Permanecem limitações relacionadas ao caráter qualitativo da validação, indicando a necessidade de estudos quantitativos, implementações em maior escala e aprofundamento de aspectos éticos, de privacidade e de governança de dados, centrais para a adoção responsável da IA na educação (Holmes *et al.*, 2022; Selwyn, 2019; Williamson, 2017).

## REFERÊNCIAS

BELDA-MEDINA, J.; KOKOŠKOVÁ, V. Integrating chatbots in education: insights from the Chatbot-Human Interaction Satisfaction Model (CHISM). **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, [s.l.], v. 20, art. 62, 2023. DOI: 10.1186/s41239-023-00432-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00432-3>. Acesso em: 16 maio 2025.

KANONT, K. *et al.* Generative-AI, a learning assistant? Factors influencing higher-ed students' technology acceptance. **Electronic Journal of e-Learning**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 18-33, 2024. DOI: 10.34190/ejel.22.6.3196. Disponível em: <https://doi.org/10.34190/ejel.22.6.3196>. Acesso em: 16 maio 2025.

KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews** (Keele University Technical Report No. TR/SE-0401; NICTA Technical Report No. 0400011T.1). Keele: Keele University, 2004. Disponível em: [http://www.elizabete.com.br/rs/Tutorial\\_IHC\\_2012\\_files/Conceitos\\_RevisaoSistemica\\_kitchenham\\_2004.pdf](http://www.elizabete.com.br/rs/Tutorial_IHC_2012_files/Conceitos_RevisaoSistemica_kitchenham_2004.pdf). Acesso em: 10 dez. 2024.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. **Systematic Reviews**, [s.l.], v. 10, n. 71, 2021. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>. Acesso em: 5 jan. 2025.

PALOMINO, P. T. **Gamification of Virtual Learning Environments: A Narrative and User Experience Approach**. 2022. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-26072022-105616/publico/PaulaToledoPalomino\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-26072022-105616/publico/PaulaToledoPalomino_revisada.pdf). Acesso em: 27 jan. 2025.

PEFFERS, K. *et al.* A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, [s.l.], v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.2753/MIS0742-1222240302>. Acesso em: 11 maio 2025.

SANTOS, S. E. F. S. **Minha Tese InteliEduca**. Salvador: GitHub Pages, 2025. Disponível em: <https://sanvalebert.github.io/MinhaTeseInteliEduca/>. Acesso em: 6 set. 2025.

TOPPING, K. J. *et al.* Enhancing peer assessment with artificial intelligence. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, [s.l.], v. 22, n. 3, 2025. DOI: 10.1186/s41239-024-00501-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00501-1>. Acesso em: 16 maio 2025.

UNESCO. **Recommendation on the ethics of artificial intelligence.**

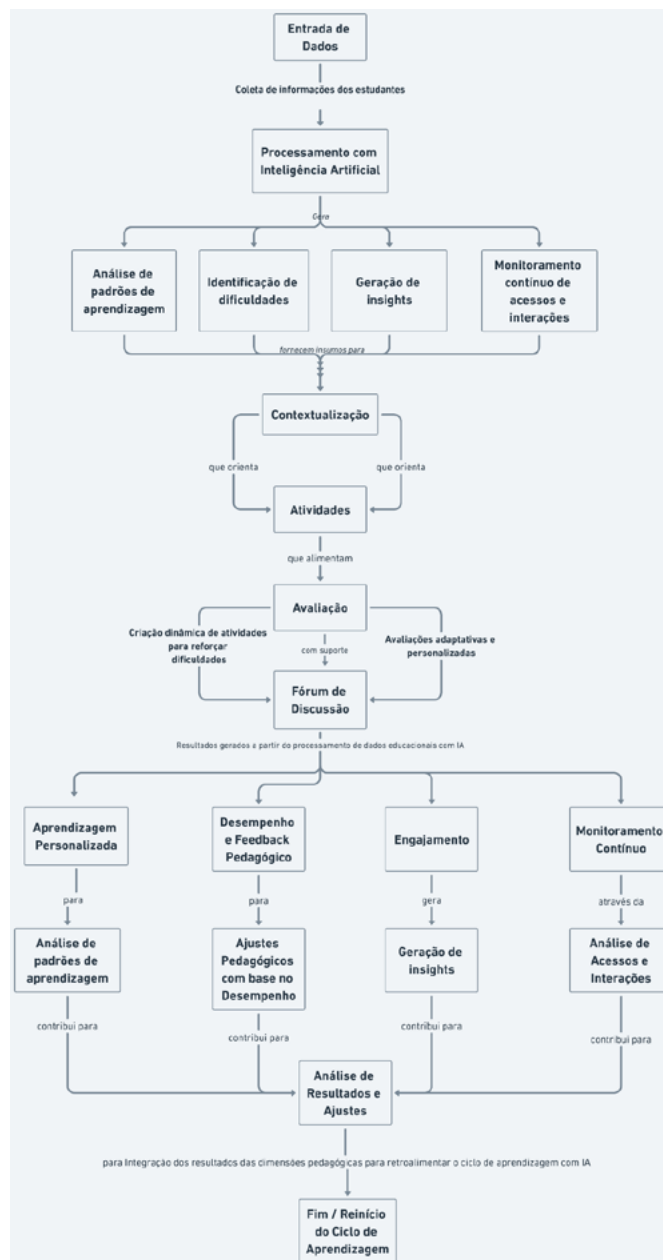
Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455>. Acesso em: 19 jun. 2025.

WALTER, Yoshija. Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education.

**International Journal of Educational Technology in Higher Education**, [s./l.], v. 21, art. 15, p. 1-29, 2024. DOI: 10.1186/s41239-024-00448-3. Acesso em: 20 jun. 2025.

ZAWACKI-RICHTER, O.; MARÍN, V. I.; BOND, M.; GOBERNADO-ESTRELLO, F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, [s./l.], v. 16, n. 39, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>. Acesso em: 19 jun. 2025.

Apêndice A – Fluxograma que representa o modelo conceitual



# 9

*Amanda Oliveira Alves  
Alex Vinicius Souza Araújo  
Amanda Morais Almeida  
Geovana Pires Araujo Lima  
Paulo Eduardo Ambrósio*

## **REVISÃO INTEGRATIVA ENTRE AGENTES VIRTUAIS E AMBIENTES IMERSIVOS BASEADOS EM VÍDEOS 360°**

## INTRODUÇÃO

Os vídeos em 360° oferecem um método eficiente, fácil e rápido para capturar o mundo real e reproduzi-lo em realidade virtual com alta fidelidade e boa resolução. Câmeras capazes de capturar imagens e movimentos de todas as direções simulam o mundo real em Realidade Virtual (RV) de forma eficaz (De Dinechin; Paljic, 2019).

Avanços recentes em grandes modelos de linguagem (LLMs) permitiram o desenvolvimento de assistentes virtuais mais naturais e personalizados, aprimorando a interação do usuário em ambientes imersivos. Contudo, a incorporação de agentes virtuais pode tornar a experiência ainda mais interativa, embora ainda enfrente desafios para integração efetiva entre os ambientes.

Para superar essas limitações, estudos recentes propõem técnicas avançadas de captura de movimento e estimativa de pose, permitindo a captura precisa de movimentos corporais e faciais e melhorando a integração de personagens virtuais em ambientes imersivos.

Este estudo teve como objetivo trazer uma revisão integrativa para identificar as principais tecnologias e métodos empregados no desenvolvimento de agentes virtuais em vídeos 360°. Esses ambientes permitem que os usuários experimentem cenas panorâmicas em RV por meio de rastreamento da cabeça e imersão espacial, apresentando desafios e oportunidades de interação únicos para agentes inteligentes. Dada a natureza mais ampla e interpretativa das revisões, a seleção dos estudos seguiu uma abordagem exploratória e integrativa, em vez de um protocolo rígido.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O uso da realidade virtual tem-se expandido significativamente em diversos setores, incluindo turismo, educação, saúde e formação profissional. Na área industrial, Almeida *et al.* (2023) apresentam um método para o desenvolvimento de ambientes de realidade virtual multiplataforma voltados ao treinamento imersivo. Winkler *et al.* (2025) exploram o uso de *biofeedback* para avaliar a experiência do utilizador em contextos imersivos, contribuindo para aplicações voltadas ao bem-estar e à saúde. No turismo cultural, Kontogiorgakis *et al.* (2024) demonstram a integração de agentes virtuais com sincronização labial e expressões faciais aplicados sobre vídeos em 360°, enriquecendo a narrativa e a interatividade da experiência.

Várias técnicas são empregadas para guiar a atenção do espectador em experiências imersivas. Dada a liberdade do espectador para explorar o ambiente de 360°, é essencial usar dicas visuais, como setas, sinais luminosos, ícones flutuantes ou efeitos sonoros, para direcionar o olhar e garantir que os principais elementos narrativos sejam percebidos. Além disso, a narração em voz *off* tem sido reconhecida como um recurso que aprimora a sensação de imersão (De Souza, 2020).

Agentes virtuais são empregados em aplicações que vão desde simulações sociais e sistemas de tráfego até robôs autônomos, modelos climáticos, epidemiologia, economia, sistemas médicos, operações militares e, mais comumente, em jogos e produção cinematográfica (Pal *et al.*, 2020).

Para inserir um agente em um vídeo de 360°, é necessário implementar uma malha de fundo. Essa malha 3D fornece o contexto espacial onde o agente é posicionado. Uma imagem de fundo da cena é usada para aplicar um modelo de estimativa de profundidade pré-treinado para inserir o mapa de profundidade correspondente.

Esse modelo deve ser treinado em imagens semelhantes à cena alvo. Dois exemplos são *UResNet* e *AlphaPose*; ambos são consistentes na detecção de características humanas em vídeos de 360°. O *AlphaPose*, em particular, é capaz de identificar vários personagens simultaneamente.

Para usar esses modelos, a imagem esférica capturada pela câmera de 360° deve primeiro ser transformada em uma imagem panorâmica plana. A sequência resultante de quadros panorâmicos é então processada pelo modelo pré-treinado para estimar a forma, a pose e a textura. Em seguida, os parâmetros estimados de forma e pose são convertidos em cliques de animação e uma textura é adicionada. O personagem é então posicionado no espaço 3D usando os parâmetros da câmera e a pose estimada para o alinhamento adequado com a perspectiva do observador.

Para garantir um comportamento realista, o agente virtual deve exibir ações como movimento da cabeça, contato visual, aproximação do observador e *loops* ociosos para evitar aparências estáticas. Esses *loops* podem simular reações biológicas como respiração, piscar e movimentos corporais sutis. Esses movimentos podem ser gravados por atores humanos e processados por meio de filtros automáticos, usando ferramentas como o *Rokoko Studio*.

Outro elemento importante que dá “vida” ao agente virtual é a sincronização labial com a narração ou diálogo. A tecnologia de captura de movimento pode ser usada para esse fim, como, por exemplo, o pacote *Salsa Lip-Sync*, compatível com o motor de jogo *Unity 3D*. Ele reduz a necessidade de edição manual da sincronização labial e das expressões faciais durante a fala e oferece uma solução versátil para reproduzir gravações de voz.

Finalmente, além de sincronizar a fala, alguns agentes virtuais precisam capturar a voz ou o texto do usuário e responder de acordo. Essa capacidade de interação geralmente é alimentada por ferramentas de inteligência artificial que permitem o comportamento

conversacional. Para possibilitar a interação conversacional, plataformas como o *Dialogflow* podem ser integradas para processar entradas em linguagem natural e gerar respostas apropriadas, tornando o agente mais dinâmico e responsivo em ambientes imersivos (Wen; Gheisari, 2023).

Além desses recursos, as expressões faciais emocionais desempenham um papel fundamental no aprimoramento do realismo e da empatia dos agentes virtuais. Usando sistemas de animação facial, é possível simular uma ampla gama de estados emocionais, desde alegria e curiosidade até tristeza ou preocupação (Song; Kwon, 2024). Essas expressões podem ser roteirizadas manualmente ou geradas dinamicamente com base no contexto ou na interação do usuário.

Todos os elementos, do planejamento inicial à exportação da aplicação, constituem o processo completo necessário para integrar um agente virtual a uma experiência imersiva de vídeo 360°. Esse fluxo de trabalho envolve etapas criativas e técnicas, combinando a preparação de conteúdo visual com ferramentas avançadas para animação, inteligência artificial e desenvolvimento 3D.

## METODOLOGIA

Esta pesquisa adota uma abordagem de revisão sistemática, com o objetivo de reunir, descrever e analisar criticamente os principais estudos relacionados à incorporação de agentes virtuais em vídeos 360° imersivos. Essa abordagem foi escolhida por sua flexibilidade interpretativa, adequada a campos emergentes nos quais a literatura ainda é fragmentada.

A busca bibliográfica foi realizada no *Google Scholar* (Google Acadêmico), utilizando a funcionalidade de pesquisa avançada para

garantir maior precisão nos resultados. Optou-se por utilizar termos em inglês, como "*virtual agent*", "*virtual assistant*" e "*conversational agent*", combinado a "*360 video*", devido à maior concentração de artigos científicos relevantes nessa língua.

Para a composição das buscas, foram utilizados termos independentes relacionados a agentes virtuais e vídeos em 360 graus, combinados pela lógica *AND*, pois o uso do operador *OR* restringia excessivamente os resultados, chegando a não retornar artigos relevantes. Assim, as buscas foram feitas de forma separada, sem aplicação do *OR*, para ampliar o espectro de artigos encontrados.

A pesquisa avançada delimitou o período dos artigos entre 2019 e 2025, abrangendo publicações recentes e atuais. Os termos foram inseridos nos campos "com todas as palavras" e "com no mínimo uma das palavras", favorecendo a seleção de artigos que abordassem simultaneamente os conceitos de agentes virtuais e vídeos 360 graus, garantindo a relevância e atualidade do material pesquisado para o desenvolvimento deste trabalho.

Durante os testes preliminares, constatou-se que o uso do símbolo de grau (°) restringia os resultados, uma vez que os artigos utilizavam tanto a forma com símbolo quanto por extenso ("graus"). Por isso, a pesquisa excluiu esses símbolos e palavras específicas para ampliar o retorno.

Foram aplicados os seguintes critérios de inclusão:

- Estudos publicados entre 2019 e 2025;
- Textos completos disponíveis;
- Descrição do uso ou desenvolvimento de agentes virtuais em contextos de vídeos 360° imersivos;
- Escritos em inglês ou português.

- Critérios de exclusão adotados foram:
- Artigos duplicados;
- Trabalhos que abordam apenas agentes virtuais em ambientes 3D modelados do zero (sem uso de vídeo 360°);
- Estudos genéricos sobre realidade virtual sem foco em agentes virtuais ou conversacionais.

A triagem dos resultados ocorreu em três etapas sequenciais: (i) análise dos títulos, que reduziu os 293 artigos iniciais para 113, (ii) leitura dos resumos para identificar artigos específicos ao tema, excluindo aqueles que não envolviam agentes virtuais em vídeos 360°, e (iii) leitura completa dos textos remanescentes para confirmação dos critérios, culminando na seleção final de 13 estudos incluídos na análise, conforme apresentado na Tabela 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca inicial no *Google Scholar* retornou 293 resultados. Após a leitura dos títulos, esse número foi reduzido para 113 artigos. A análise dos resumos permitiu identificar aqueles que tratavam especificamente do desenvolvimento de agentes virtuais em vídeos 360°, excluindo trabalhos que abordavam apenas vídeos 360° sem agentes virtuais ou que não mencionavam tecnologias empregadas no desenvolvimento desses agentes. Ao final dessa triagem, restaram 13 estudos para compor a tabela do presente *review*, listados na Tabela 1.

Embora o número de estudos seja reduzido, ele evidencia o caráter emergente da aplicação de agentes virtuais em vídeos 360°, uma área ainda pouco explorada. Para manter a relevância, foram considerados apenas artigos publicados nos últimos cinco anos.

**Tabela 1 – Resumo dos Estudos sobre Agentes Virtuais em Vídeos 360°**

Artigo	Tipo de agente	Uso de IA	Gestos/fala (ferramentas)	Plataforma
De Dinechin <i>et al.</i> (2019)	Agente Narrativo	Sim (AlphaPose, DensePose, HMR, UResNet)	Gestos (AlphaPose, DensePose)	Unity + AlphaPose + Samsung Gear 360
Piumsomboon <i>et al.</i> (2019)	Agente Pedagógico Adaptativo	Sim (Eye-tracking, modelagem adaptativa)	Orientação espacial dinâmica adaptada ao olhar do usuário	VR com HMD + vídeos 360° + modelagem 3D
Eiris <i>et al.</i> (2020)	Agente Conversacional	Sim (Virtual Peco Factory, TTS)	Fala (TTS), gestos limitados via VPF	Unity + Adobe Fuse CC + VPF + Qualtrics
Deriu <i>et al.</i> (2021)	NPC Conversacional (Guia Turístico)	Sim (Aprendizado de Máquina, PLN)	Fala (SALSA LipSync), animações de humanoide	Unity + SALSA + Dialogue System + WakeUp Manager
Norouzi <i>et al.</i> (2021)	Animais Virtuais (Guia Diegético)	Não	Movimento (animações do Mixamo), sem fala	Unity + HTC Vive Pro + Mixamo
Wen <i>et al.</i> (2022)	Agente Virtual Conversacional	Sim (Dialogflow, TTS)	Fala (TTS), gestos limitados via VPF	Unity + Adobe Fuse CC + Dialogflow + VPF
Wen <i>et al.</i> (2023)	Agente Virtual Conversacional (iVisit-Communicate)	Sim (Dialogflow + IBM Watson TTS)	Fala (Watson TTS), gestos limitados via rig humanoide	Unity + IBM Watson + Modelagem 3D
Thanou <i>et al.</i> (2024)	Avatar Interativo (com Chatbot de IA)	Sim (Chatbot + Recomendação)	Fala (TTS), chat textual, expressões faciais e gestos básicos	Unity + CMS + Digitalização 3D
Kontogiorgakis <i>et al.</i> (2024)	Avatar Interativo (Character Creator 3)	Sim (PlayHT TTS + Narrativa com IA)	Gestos (Rokoko MoCap), fala (SALSA + PlayHT)	Unity + Rokoko + Character Creator 3 + PlayHT
Nakamura <i>et al.</i> (2024)	Autoavatar (Aprimorando Presença)	Não	Nenhum (movimentos e vibrações nos pés)	Unity + Insta360 Pro 2 + FinalIK + HTC Vive Pro Eye
Khokhar e Borst (2022)	Agente Pedagógico Adaptativo	Sim (Resposta a eye-tracking)	Orientação espacial adaptada conforme gaze tracking	Unity + Kinect V2 + FFmpeg + Mecanim Humanoid Rig

Artigo	Tipo de agente	Uso de IA	Gestos/fala (ferramentas)	Plataforma
Zhou <i>et al.</i> (2020)	Avatar do Usuário (Autoavatar)	Não	Gestos e fala reais gravados; avatar simula postura, gestos limitados	Unity + HTC Vive Pro
Baena-Pérez <i>et al.</i> (2024)	Plataforma Visual de Autoria	Sim (Google DialogFlow, BPMN)	Voz (Google DialogFlow), controle de fluxo (BPMN), renderização 360° (Google VR SDK)	Ai2/Blockly + BPMN.io + Google VR SDK

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Os estudos revisados revelam uma diversidade de agentes virtuais em vídeos 360°, predominantemente voltados para funções de guia, narrador ou assistente pedagógico. O trabalho de De Dinechin e Paljic (2019) destaca-se pela integração de ferramentas avançadas de captura de movimento, como *AlphaPose* e *DensePose*, que permitem agentes narrativos com gestos detalhados para aumentar o realismo da experiência. Já Eiris *et al.* (2020) e Wen e Gheisari (2022, 2023) focam em agentes conversacionais que combinam síntese de fala (TTS) e processamento de linguagem natural, promovendo interações verbais dinâmicas, ainda que com gestos limitados, o que reflete uma tendência de priorizar a comunicação verbal em ambientes VR imersivos.

Deriu *et al.* (2021) introduzem *NPCs* turísticos com animações humanoides e sincronização labial via *SALSA*, evidenciando esforços para maior expressividade e imersão. Norouzi *et al.* (2021), por sua vez, exploram agentes não verbais, como animais virtuais, que orientam o usuário por meio de movimentos e comportamentos naturais, oferecendo um modelo alternativo de interação sem fala.

O artigo de Khokhar e Borst (2022) apresenta um agente pedagógico adaptativo em ambientes de realidade virtual que utiliza tecnologia *eye-tracking* para monitorar o olhar dos estudantes e ajustar dinamicamente a orientação espacial do agente. De forma

## SUMÁRIO

semelhante, Piumsomboon *et al.* (2019) propuseram um sistema colaborativo de realidade mista multiescala, que adapta a interação do agente virtual em vídeos 360° em tempo real com base no foco visual do usuário, promovendo uma experiência mais responsiva e personalizada em ambientes imersivos. Essas soluções destacam o potencial da integração de tecnologias de rastreamento ocular para aumentar o engajamento e a eficácia da aprendizagem em vídeos 360°.

Na vertente de autoria e criação de conteúdo, Baena-Pérez *et al.* (2024) propõem uma plataforma visual que combina *AI2/Blockly* e BPMN para modelagem e execução automatizada de fluxos interativos com reconhecimento de voz e renderização estereoscópica. Essa abordagem modular facilita o desenvolvimento de experiências educativas em VR, diferenciando-se dos demais estudos focados em agentes animados.

Em termos de presença e realismo sensorial, Nakamura *et al.* (2024) apresentam melhorias como vibrações táteis e sombras projetadas nos pés do avatar para aumentar a sensação de presença, enquanto Zhou *et al.* (2020) apostam em autoavatares que reproduzem os gestos e fala reais do usuário para promover autoavaliação em treinamento de oratória.

Finalmente, Kontogiorgakis (2024) explora avatares interativos com *chatbots* baseados em IA e captura de movimento via *Rokoko MoCap*, combinando fala, expressões faciais e gestos para enriquecer a interação multimodal.

## CONCLUSÃO

A integração de agentes virtuais em vídeos 360° representa uma fronteira promissora para ampliar a imersão e o engajamento do usuário, sobretudo quando são empregadas técnicas de IA para

linguagem natural, captura de gestos e personalização adaptativa. Observa-se uma ampla variedade de abordagens, desde agentes simples até sistemas sofisticados, o que indica um campo em expansão com muitas oportunidades para avanços futuros.

O objetivo principal deste estudo foi identificar as ferramentas e abordagens mais utilizadas no desenvolvimento de experiências em Realidade Virtual (RV), por meio de uma revisão sistemática da literatura focada nesse campo emergente.

Quanto às perspectivas futuras, destacam-se a necessidade de aprimorar a interatividade e o realismo dos agentes virtuais, com sistemas capazes de se adaptar dinamicamente ao comportamento do usuário. Entre os avanços promissores, estão a integração de rastreamento ocular, *feedback* biométrico e personalização em tempo real, que podem elevar a imersão a novos patamares. Além disso, o desenvolvimento de tecnologias de *feedback* tátil, embora ainda em estágio inicial, mostra grande potencial para tornar as experiências virtuais ainda mais envolventes e realistas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.; VASCONCELOS, N.; WINKLER, I.; CATAPAN, M. Innovating industrial training with immersive metaverses: a method for developing cross-platform virtual reality environments. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 13, n. 15, p. 8915, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app13158915>.

BAENA-PÉREZ, R.; RUIZ-RUBE, I.; MOTA, J. M.; BERNES, A.; BALDERAS, A. Visual authoring of virtual reality conversational scenarios for e-learning. **Universal Access in the Information Society**, [s. l.], v. 23, p. 227-244, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10209-022-00923-0>.

DAVIS, R. **Report on the workshop on distributed AI**. Cambridge: MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1980. (Working Paper 204).

## SUMÁRIO

DE SOUZA, G. L.; SILVA, I. M. C. Teorias e técnicas do cinema de realidade virtual: uma revisão sistemática qualitativa da literatura. **Revista GEMInIS**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 243-265, 2020. Disponível em: <https://www.revistageminis.ufscar.br/index.php/geminis/article/view/506>.

DERIU, M.; BACHIS, F.; MASSA, M. Improving user engagement in a fully immersive experience by means of a conversational non-playable character used as a tourist guide. *In*: IEEE IOT VERTICAL AND TOPICAL SUMMIT FOR TOURISM, 2021. **Anais** [...]. [S. l.]: IEEE, 2021.

DE DINECHIN, G. D.; PALJIC, A. Virtual agents from 360° video for interactive virtual reality. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER ANIMATION AND SOCIAL AGENTS (CASA), 32., 2019, Paris. **Anais** [...]. New York: ACM, 2019.

EIRIS, R.; WEN, J.; GHEISARI, M. iVisit: digital interactive construction site visits using 360-degree panoramas and virtual humans. *In*: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2020. **Anais** [...]. Reston: ASCE, 2020. p. 1106-1115.

KHOKHAR, A.; BORST, C. W. Modifying pedagogical agent spatial guidance sequences to respond to eye-tracked student gaze in VR. *In*: SYMPOSIUM ON SPATIAL USER INTERACTION (SUI '22), 2022. **Anais** [...]. New York: ACM, 2022.

KONTOGIORGAKIS, E. *et al.* Gamified VR storytelling for cultural tourism using 3D reconstructions, virtual humans, and 360° videos. **Technologies**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 73, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/technologies12060073>.

NAKAMURA, J.; IKEI, Y.; KITAZAKI, M. Effects of self-avatar cast shadow and foot vibration on telepresence and cybersickness. **i-Perception**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 1-22, 2024.

NOROUZI, N. *et al.* Virtual animals as diegetic attention guidance mechanisms in 360-degree experiences. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, [s. l.], v. 27, n. 5, p. 2400-2412, 2021.

PAL, C.-V.; LEON, F.; PAPRZYCKI, M.; GANZHA, M. **A review of platforms for the development of agent systems**. [S. l.]: *arXiv*, 2020. (arXiv preprint).

PIUMSOMBOON, T. *et al.* On the shoulder of the giant: a multi-scale mixed reality collaboration with 360 video sharing and tangible interaction. *In*: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2019. **Anais** [...]. New York: ACM, 2019.

SONG, H.; KWON, B. Facial animation strategies for improved emotional expression in virtual reality. **Electronics**, [s. l.], v. 13, n. 13, p. 2601, 2024.

WEN, J.; GHEISARI, M. Conversational virtual humans on 360-degree virtual sites: guiding students on site visits. *In*: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2022. **Anais** [...]. Reston: ASCE, 2022.

WEN, J.; GHEISARI, M. iVisit-Communicate for AEC education: using virtual humans to practice communication skills. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 04023011, 2023.

WINKLER, I. *et al.* Biofeedback na avaliação da experiência do usuário em ambientes imersivos. *In*: MENDOZA, M. R.; GARCÉS, L. (org.). **Livro de Minicursos do XXV Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS 2025)**. Porto Alegre: SBC, 2025. p. 184-217.

ZHOU, H.; FUJIMOTO, Y.; KANBARA, M.; KATO, H. Effectiveness of virtual reality playback in public speaking training. *In*: IEEE CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY AND 3D USER INTERFACES WORKSHOPS (VRW), 2020. **Anais** [...]. [S. l.]: IEEE, 2020. p. 650-651.

## SUMÁRIO

# 10

*Pedro Vitor Oliveira da Silva  
Crescencio Lima  
José Alberto Diaz Amado  
João Erivando Soares Marques  
Cléia Libarino  
Luis Alves Correia Filho  
Kenedy Marconi Geraldo Santos*

**APLICANDO  
BUSINESS INTELLIGENCE  
NO CONTEXTO DE SISTEMAS  
DE SERVIÇOS AUTÔNOMOS**

## INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a computação tem passado por uma evolução constante, adaptando-se para atender às diversas e crescentes necessidades da sociedade. Desde suas origens até os avanços tecnológicos mais recentes, as tecnologias desempenham um papel fundamental na transformação dos hábitos e das rotinas modernas, uma vez que os aparelhos eletrônicos tornaram-se elementos intrínsecos do cotidiano.

Os avanços nas áreas de programação e engenharia possibilitaram a criação de sistemas capazes de coletar informações do ambiente e, com base nelas, tomar decisões. Tais dispositivos são chamados de “Agentes Autônomos.” Segundo Costantini e Gobbo (2013, p. 50-59), “os agentes utilizam experiências anteriores para otimizar suas reações ao ambiente e a outras entidades”. As aplicações desses agentes incluem, dentre outros, usos na robótica, Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina.

No funcionamento de sistemas de serviço autônomos, é comum a existência de diversos dispositivos responsáveis por fornecer dados para que os algoritmos de IA e aprendizado de máquina funcionem, facilitando as decisões. Há, portanto, um grande fluxo desses elementos nas operações, aumentando a complexidade dos sistemas. Nesse contexto, a coleta e identificação de padrões em grandes volumes de dados apresentam benefícios notáveis do uso de tais ferramentas, por isso é natural que haja um grande acúmulo dessas informações nas aplicações autônomas, conhecido como *Big Data*. Conforme apontado por Sagiroglu e Sinanc (2013, p. 42-47), “essas informações são úteis para as organizações porque permitem a obtenção de *insights* mais ricos e profundos, bem como a vantagem competitiva sobre os concorrentes”. Portanto, o *Big Data* desempenha um papel no sucesso e na eficiência das operações

autônomas, permitindo que as empresas tomem decisões com maior precisão e confiabilidade.

A capacidade de transformar grandes volumes de dados em informações intuitivas e compreensíveis através do chamado *Business Intelligence* (BI) é fundamental para os tomadores de decisão identificarem tendências e padrões de forma mais rápida e eficaz. O BI é definido como “uma categoria ampla de tecnologias, aplicações e processos para reunir, armazenar, acessar e analisar dados para ajudar seus usuários a tomar melhores decisões” (Wixom; Watson, 2010, p. 13-28).

Este trabalho tem como objetivo utilizar BI no contexto de sistemas autônomos de serviço de ambientes internos, com o propósito de criar gráficos e relatórios que possibilitem observações e tomadas de decisões eficazes. Como entregáveis, disponibilizou-se um relatório desenvolvido no Power BI, além da apresentação de descrições detalhadas dos gráficos escolhidos, com suas funcionalidades e os motivos para a escolha de cada um.

## DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O desenvolvimento do projeto utilizou um conjunto de ferramentas e tecnologias que possibilitaram a coleta, tratamento e análise dos dados, além do monitoramento e visualização das informações. Utilizou-se de um banco de dados relacional estruturado MYSQL, modelado para organizar informações específicas do projeto, visando garantir eficiência no acesso aos dados.

Para a visualização e análise, foi adotado o Power BI, escolhido devido às suas diversas opções de gráficos, capacidade de integração com diferentes fontes de dados, curva de aprendizado

amigável e funcionalidade gratuita para a maior parte das operações. A ferramenta permitiu a criação de *dashboards* interativos que facilitaram a interpretação dos dados e o suporte à tomada de decisões.

A linguagem de programação utilizada neste trabalho foi o *Data Analysis Expressions* (DAX), uma linguagem de fórmulas desenvolvida para manipulação de dados em ambientes de BI. Com a linguagem, foram criadas medidas, colunas calculadas e consultas complexas, com o objetivo de realizar operações analíticas avançadas e otimizar o desempenho das visualizações.

Conforme o modelo proposto por Silva *et al.* (2023), no qual a interação entre humanos e robôs (*Human-Robot Interaction* – HRI) desempenha um papel central na eficiência dos sistemas inteligentes, o *dashboard* desenvolvido neste trabalho se insere como uma interface para facilitar essa interação. O HRI influencia o planejamento do comportamento social do robô, permitindo que ele responda de forma adaptativa aos usuários. No contexto deste trabalho, o *dashboard* atua como um facilitador dessa interação, fornecendo visualizações que auxiliam na interpretação dos dados e na tomada de decisão em tempo real.

## PROJETO *SMART CAMARO*

Para o estudo de caso, dentre os projetos realizados no Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica (GIPAR), foi selecionado o projeto *Smart Camaro* como foco de análise. O projeto consiste na criação de um veículo autônomo, capaz de transportar objetos em ambientes fechados de maneira eficiente. Equipado com sensores, e através de visão computacional e redes neurais, o veículo é projetado para identificar objetos e seres vivos, ajustando sua rota para evitá-los enquanto cumpre seu trajeto previamente definido.

A Figura 1 apresenta o veículo equipado com sensores e equipamentos que permitem a navegação autônoma. O carro conta com uma bateria de alta capacidade e um sensor *Light Detection and Ranging* (LIDAR), posicionado na parte frontal, para mapeamento e detecção de obstáculos.

**Figura 1** - Veículo Autônomo *Smart Camaro*



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

Para operar o *Smart Camaro*, foi criada uma aplicação WEB que permite a visualização das ações do dispositivo autônomo. Nessa plataforma, pode-se realizar solicitações de entrega e visualizar o *status* das entregas que estão ocorrendo em tempo real. A aplicação WEB do *Smart Camaro* foi utilizada para registrar pedidos e monitorar seu *status* em tempo real. A aplicação também permite consultas ao banco de dados SQL da aplicação. O projeto se comunica com este banco, a fim de empregar esses dados na geração de relatórios no *dashboard*.

Os testes do veículo autônomo foram realizados nos laboratórios e salas do Instituto Federal da Bahia (IFBA), campus de Vitória da Conquista. O veículo transporta ferramentas e outros itens entre as

salas, desviando de obstáculos e pessoas ao longo do trajeto. O banco de dados utilizado no *Smart Camaro* armazena dados provenientes de sensores e do próprio dispositivo autônomo, exigindo um monitoramento constante para aprimorar o desempenho do veículo. Esses dados incluem informações de posição, velocidade e trajeto programado, além de detalhes sobre o destino. Os dados foram analisados e visualizados por meio de ferramentas de BI no Power BI, com o objetivo de otimizar a compreensão e análise, facilitando melhorias contínuas no projeto e na tomada de decisões estratégicas.

## IMPORTAÇÃO, COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados analisados neste trabalho estão armazenados em um banco de dados relacional. Para extraí-los, foi utilizado o módulo de importação do Power BI, que permite a conexão direta com fontes de dados. Após a extração, os dados foram processados por meio da ferramenta *Query Editor*. O recurso possibilita transformar e ajustar os dados, etapa por etapa, garantindo que cada coluna esteja corretamente configurada conforme o tipo armazenado e preparada para facilitar as análises.

Uma vez concluída tal etapa, foi necessário readequar os relacionamentos entre as tabelas no programa. Os relacionamentos são essenciais para que as informações entre diferentes tabelas sejam conectadas, permitindo os filtros e interações entre os gráficos criados no *dashboard*. Por padrão, o programa tenta relacionar as tabelas com colunas de mesmo nome. As conexões restantes foram realizadas respeitando as cardinalidades definidas no banco de dados importado.

Com base nos dados disponíveis, foi desenvolvido um *dashboard* dividido em duas páginas: "Informações Gerais" (Figura 2) e "Desempenho" (Figura 3), com o objetivo de fornecer uma visão clara dos dados principais do banco de dados, como também das

informações relevantes para o ambiente de desenvolvimento do GIPAR. O projeto está disponível no link <https://github.com/GIPAR/dashboard-mall-delivery>.

## GRÁFICO DE ROSCA – STATUS DOS PEDIDOS

A Figura 2 apresenta a página de Informações Gerais. O gráfico do tipo rosca apresenta a distribuição dos pedidos por *status* (pendente, em andamento, concluído e cancelado), permitindo observar a proporção de cada categoria e simplificando a análise da eficiência na execução. Conforme destacado por Evergreen (2019), gráficos de rosca e pizza são adequados para representar informações segmentadas. Nesse caso, as cores foram usadas para realçar visualmente as diferenças entre os *status*.

Esse recurso enriquece a interpretação visual ao apoiar a identificação de gargalos no fluxo de entregas, como um número elevado de pedidos pendentes ou cancelados, permitindo ajustes rápidos nas operações e a otimização da eficiência operacional em tempo real.

O gráfico permitiu aos gestores do *Smart Camaro* comparar a taxa de conclusão dos pedidos ao longo do tempo. As cores utilizadas tornam evidente quando há um número excessivo de pedidos interrompidos ou não realizados, permitindo que a equipe seja alertada de forma rápida e visual. A partir desses alertas, é possível investigar caso a caso as possíveis causas, seja uma falha operacional, um problema técnico no sistema ou uma demanda inesperada, possibilitando ajustes imediatos para garantir maior eficiência.

## MAPA DE PEDIDOS – LOCALIZAÇÃO DAS LOJAS

Complementando essa análise, o segundo gráfico apresenta um mapa interativo que mapeia a localização das lojas, com

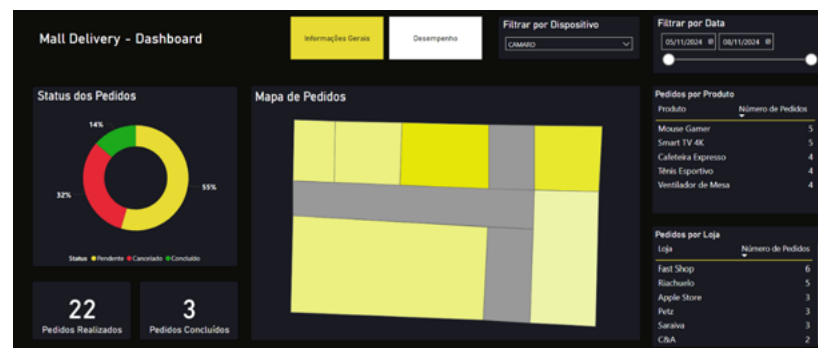
pontos indicativos da quantidade de pedidos realizados em cada uma. Cada loja é identificada por seu identificador e destacada por um esquema de cores que reflete o volume de pedidos realizados, facilitando a identificação de padrões geográficos. Como apontado por Steele e Iliinsky (2010), o uso de mapas torna a interpretação intuitiva, permitindo aos usuários associar rapidamente informações geográficas às operações.

Esse gráfico facilita o planejamento logístico, ao priorizar rotas para locais com maior volume de pedidos, mas também proporciona uma visão clara da demanda de cada loja, ajudando a identificar oportunidades e áreas de melhoria.

Com base no mapa, foi possível identificar a tendência de algumas lojas em gerar um volume de pedidos muito superior a outras, o que impacta diretamente a distribuição dos robôs. Essa visualização ajudou a destacar a necessidade de otimizar as rotas de entrega, alocando mais veículos para regiões de maior demanda e evitando ociosidade em áreas com menor movimentação. Dessa forma, a gestão das entregas se tornou mais equilibrada, reduzindo o tempo de espera dos clientes e melhorando a eficiência operacional.

SUMÁRIO

Figura 2 - Página de Informações Gerais



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

## TABELAS DE PEDIDOS – ANÁLISE POR PRODUTOS E LOJAS

Por fim, as tabelas complementam a análise, apresentando o número de pedidos por produto e por loja, possibilitando a identificação dos produtos com maior demanda e facilitando comparações entre as lojas.

As tabelas foram escolhidas para complementar a análise por sua praticidade em exibir informações de forma direta. Permitem uma visualização rápida, otimizando o uso de espaço no *dashboard* e, por não demandarem representação gráfica para sua compreensão, tornam-se a solução mais eficiente para destacar os dados e facilitar comparações.

Por meio da análise da tabela, foi possível identificar os produtos com maior demanda e, com isso, antecipar as necessidades e futuras entregas. Isso permite que as lojas se preparem melhor para períodos de alta demanda, evitando atrasos e garantindo que os itens mais procurados estejam sempre disponíveis para entrega.

## GRÁFICO DE INDICADOR – TEMPO DE ENTREGA MÉDIO

A Figura 3 apresenta a página de desempenho. O gráfico de indicador exibe o tempo médio de entrega dos pedidos, calculado através do momento da realização e o de finalização. Ele destaca a eficiência do processo de entrega e permite avaliar se os tempos estão dentro dos parâmetros esperados. A barra deslizante, localizada abaixo do gráfico, controla o tempo médio esperado, permitindo que o gráfico utilize cores para indicar se o valor atual está acima, abaixo ou igual ao esperado.

De acordo com Evergreen (2019), esse modelo facilita a visualização de metas. Para tornar a análise mais clara, o gráfico

foi implementado de forma simplificada, evitando elementos que possam gerar poluição visual.

O uso desse indicador permitiu estabelecer metas de desempenho para os robôs. Com base nos dados históricos, foi definido um tempo máximo aceitável para as entregas, possibilitando ajustes na velocidade e na priorização dos pedidos, conforme necessário.

**Figura 3** – Página de Desempenho



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

## GRÁFICO DE LINHAS – HISTÓRICO DO USO DA BATERIA

Este gráfico apresenta uma série temporal do uso da bateria, mostrando a porcentagem de bateria registrada em diferentes momentos e incluindo informações sobre os sensores ativos no momento do registro, sendo útil para monitorar o consumo de bateria e otimizar situações variadas de uso.

Como apontado por Tufte (2001), os gráficos de séries temporais são amplamente utilizados devido à sua capacidade de apresentar dados ordenados no tempo, proporcionando simplicidade e eficiência na interpretação. Além disso, os botões acima do gráfico

permitem a escolha dos sensores desejados no momento da análise, oferecendo maior personalização.

O gráfico ajudou a compreender o consumo de bateria dos robôs em diferentes cenários, permitindo o planejamento de otimizações para maximizar a autonomia dos dispositivos. Além disso, foi possível correlacionar o consumo com a distância percorrida em cada rota, garantindo que os veículos tenham energia suficiente para completar suas entregas sem a necessidade de recargas inesperadas. Esse monitoramento também auxilia na redefinição de trajetos para minimizar o desgaste das baterias e aumentar a eficiência energética do sistema.

## CONCLUSÃO

Os materiais desenvolvidos permitem ao GIPAR realizar análises de dados do projeto *Smart Camaro* de forma prática e eficiente. O uso de *dashboards* no Power BI reduz a necessidade de consultas diretas ao banco de dados, diminuindo o tempo e o esforço associados à criação de consultas SQL e tornando o processo de análise mais ágil.

Além disso, a adoção de BI facilita a organização e a integração dos dados por meio de recursos como filtros, segmentações e atualizações em tempo real, possibilitando o acompanhamento do desempenho do projeto e apoiando a tomada de decisões estratégicas com maior rapidez e embasamento.

Este trabalho também abre oportunidades para pesquisas futuras em BI aplicado a sistemas autônomos, incluindo a validação da solução em ambientes reais, a automação da análise de dados com apoio de IA, o refinamento de modelos analíticos a partir

do uso prático e a identificação de padrões e anomalias para monitoramento e manutenção preditiva.

## REFERÊNCIAS

COSTANTINI, S.; GOBBO, F. A history of autonomous agents: from thinking machines to machines for thinking. *In: The Nature of Computation: logic, algorithms, applications*. Milan: University of Milano-Bicocca, 2013. p. 50-59. (Informal Proceedings of Computability in Europe 2013).

EVERGREEN, S. **Effective Data Visualization**: The Right Chart for the Right Data. [S. l.]: SAGE Publications, 2019.

SAGIROGLU, S.; SINANC, D. Big data: A review. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COLLABORATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS (CTS), 2013. Proceedings [...]*. [S. l.]: IEEE, 2013. p. 42-47.

SILVA, H. N. *et al.* Proposal of a multi-modal interactive architecture based on a social indoor and outdoor navigation system. *In: LATIN AMERICAN ROBOTICS SYMPOSIUM (LARS), 2023; BRAZILIAN SYMPOSIUM ON ROBOTICS (SBR), 2023; WORKSHOP ON ROBOTICS IN EDUCATION (WRE), 2023. Proceedings [...]*. [S. l.]: IEEE, 2023. p. 397-402.

STEELE, J.; ILIINSKY, N. **Beautiful Visualization**: looking at data through the eyes of experts. [S. l.]: O'Reilly Media, 2010.

TUFTE, E. **The Visual Display of Quantitative Information**. [S. l.]: Graphics Press, 2001.

WIXOM, B.; WATSON, H. The bi-based organization. **International Journal of Business Intelligence Research (IJBIR)**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 13-28, 2010.

# 11

*Allan França Dutra  
Crescencio Lima  
José Alberto Díaz Amado  
João Erivando Soares Marques  
Cléia Libarino  
Luis Alves Correia Filho  
Kenedy Marconi Geraldo Santos*

## **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE REMOTO PARA UM ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA**

## INTRODUÇÃO

Robôs móveis autônomos têm recebido atenção tanto na pesquisa quanto na indústria, devido às suas aplicações em logística, manufatura e robótica de serviços (Wang, 2016). Entre eles, os robôs seguidores de linha (*Line Following Robots* – LFR) representam uma classe de sistemas autônomos, sendo amplamente utilizados na automação industrial, na navegação em armazéns e em competições de robótica. Esses robôs dependem de percepção baseada em sensores e de algoritmos de controle para seguir trajetórias predefinidas com alta precisão e eficiência (Pakdaman *et al.*, 2010).

Esse robô autônomo é projetado para navegar ao longo de um caminho predefinido marcado por uma linha em uma superfície contrastante, demonstrando sua capacidade de movimento autônomo. Utilizando um arranjo de sensores infravermelhos (IR), o robô detecta continuamente a linha para manter sua trajetória. Esses sensores aprimoram tanto a precisão quanto a adaptabilidade da navegação.

Os robôs LFR são comumente utilizados em competições de robótica, nas quais devem percorrer trajetórias predefinidas com alta precisão. No entanto, os projetos tradicionais apresentam limitações quanto à adaptabilidade, pois operam de forma puramente autônoma, sem possibilidade de intervenção externa. Por esse motivo, há um interesse crescente na integração de capacidades de controle remoto, permitindo intervenções em tempo real e maior flexibilidade. Essa característica é especialmente relevante em ambientes que exigem supervisão humana ou ajustes externos, como cenários industriais dinâmicos ou competições educacionais de robótica.

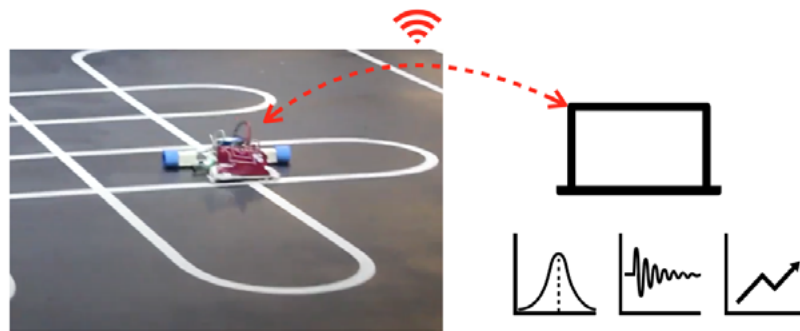
Nesse contexto, este trabalho apresenta a implementação de um LFR com controle remoto utilizando o microcontrolador ESP32, um arranjo de sensores infravermelhos e uma interface de comunicação sem fio. Foi desenvolvido um sistema de controle híbrido,

que permite tanto a navegação autônoma quanto a intervenção manual por meio de uma interface baseada na web.

## PROPOSTA

Foi desenvolvido um sistema de controle híbrido que permite tanto a navegação autônoma quanto a intervenção manual por meio de uma interface web. A Figura 1 apresenta o sistema híbrido de LFR, no qual o robô segue autonomamente uma trajetória enquanto transmite dados para um computador, possibilitando a análise em tempo real e ajustes.

**Figura 1 - Proposta**



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

## ARQUITETURA

A arquitetura foi estruturada em três camadas, com os seguintes componentes:

- **Camada de Hardware** – Responsável pela integração dos sensores, controle dos motores e gerenciamento de energia.

## SUMÁRIO

O microcontrolador ESP32 processa os dados dos sensores infravermelhos (TCRT5000) para detecção da linha, do giroscópio/acelerômetro (MPU-6050) para análise de movimento, e controla os motores N20 por meio de uma ponte H DRV8833. Um multiplexador (CD74HC4067) amplia o número de portas analógicas disponíveis, e um regulador de tensão do tipo *step-down* garante uma alimentação estável de 5V;

- **Camada de Software** – Implementa algoritmos de controle em tempo real para navegação autônoma e operação remota. Inclui um algoritmo de seguimento de linha baseado em PID, calibração dos sensores, lógica de tomada de decisão para detecção de parada e filtragem de dados para redução de ruído. Uma interface baseada na web permite que os usuários monitorem e controlem o robô remotamente; e
- **Camada de Comunicação** – Possibilita a conectividade sem fio por meio do módulo Wi-Fi do ESP32, oferecendo suporte ao registro de dados em tempo real, monitoramento remoto e controle. O robô transmite leituras dos sensores e o estado do sistema para um painel baseado na web, no qual os usuários podem visualizar o desempenho e enviar comandos. A arquitetura suporta tanto o modo autônomo (controle baseado em PID) quanto a sobreposição manual (operação remota via Wi-Fi).

## HARDWARE

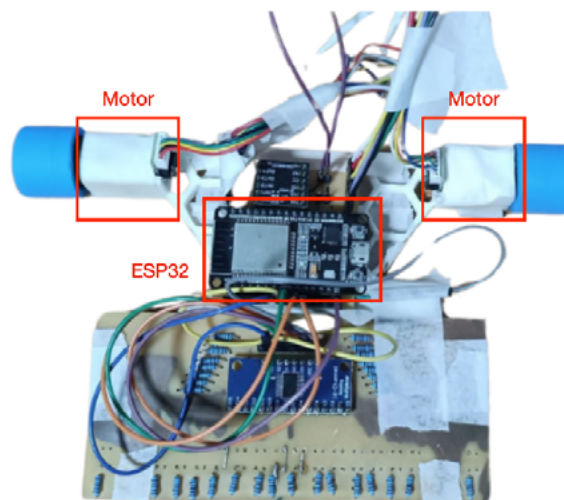
Optou-se pela utilização da placa ESP32 como controlador, principalmente devido às suas interfaces de comunicação Wi-Fi integradas e à disponibilidade de um maior número de portas analógicas. Além disso, incorporaram-se um giroscópio e um acelerômetro GY-521 MPU-6050 para análises futuras. A movimentação foi garantida por dois motores N20 com caixa de redução, capazes de atingir

até 3.000 rpm, sendo o controle realizado por meio de uma ponte H DRV8833. Para expandir o número de portas analógicas disponíveis, integrou-se um multiplexador CD74HC4067 e adicionou-se um regulador de tensão do tipo *step-down* para fornecer uma alimentação estável de 5V ao controlador ESP32.

O uso do multiplexador tornou-se necessário após testes que evidenciaram o mau funcionamento de algumas portas analógicas quando utilizadas simultaneamente com o módulo Wi-Fi. Esse problema ocorre porque um dos conversores analógico-digitais do ESP32 (ADC2) é utilizado durante a comunicação Wi-Fi, o que impede o funcionamento adequado das portas analógicas que dependem dele.

A Figura 2 apresenta a proposta do LFR equipado com o ESP32, dois motores DC com *encoders* acoplados às rodas, permitindo a leitura individual da rotação. Sobre a estrutura do robô encontram-se oito sensores TCRT5000, conhecidos como fotorrefletores.

**Figura 2** - Robô seguidor de linha (LFR) desenvolvido



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

## SOFTWARE

O software integra a leitura dos sensores, calibração, processamento de dados e controle de movimento para alcançar a movimentação autônoma do LFR. A leitura dos sensores de refletância (TCRT5000) é realizada por meio do módulo multiplexador. A leitura do giroscópio é feita via comunicação I2C e, por fim, a leitura dos *encoders* dos motores é realizada diretamente utilizando um processo denominado *interrupção*, no qual a variação do estado de um pino interrompe a execução do código principal e executa uma ação em paralelo.

Sempre que o LFR é iniciado, o processo de calibração também é iniciado. A calibração é responsável por minimizar as diferenças entre as leituras dos diversos sensores de refletância. Devido à posição de cada sensor – variações de altura ou até mesmo diferenças no processo de fabricação dos componentes –, é comum que esses sensores apresentem valores discrepantes entre si. Para reduzir esse efeito, durante a calibração os sensores são expostos a exemplos de ambientes claros e escuros, permitindo a definição dos valores máximos e mínimos de leitura para cada sensor. Após a calibração, é possível ajustar as leituras de cada sensor em relação a esses limites, resultando em valores mais uniformes entre os sensores.

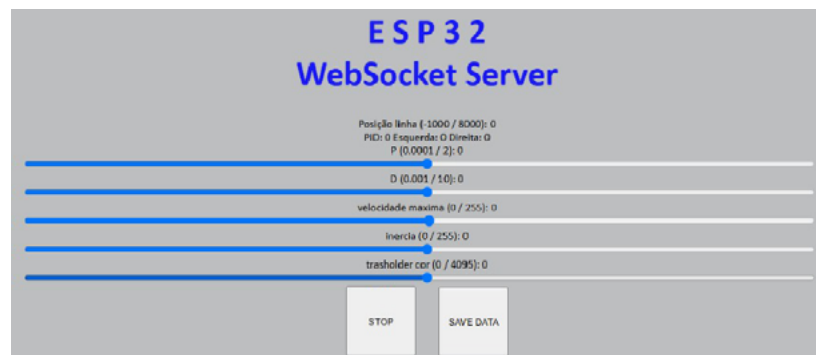
Após a leitura e normalização dos valores individuais de cada sensor de refletância, inicia-se o processamento dessas informações, transformando as leituras em uma métrica mais representativa. Por meio de um processo semelhante a uma média ponderada, aplicado aos valores fornecidos pelos sensores, obtém-se uma variável que indica a posição da linha em relação ao arranjo de sensores. Esse valor é então utilizado como entrada para o cálculo do PID e a consequente correção da trajetória do robô.

A movimentação do LFR e seu processo de tomada de decisão são realizados principalmente por meio do cálculo do PID aplicado ao valor da posição da linha. Como o PID é calculado a partir da diferença entre a posição atual da linha e sua posição ideal, obtém-se um resultado equivalente à ação necessária para corrigir a trajetória do LFR. Quanto melhor ajustadas forem as constantes do PID, mais precisa será essa correção e menor será o tempo necessário para que o robô retorne à trajetória correta. O uso de motores com *encoders* permite que a saída do PID corresponda diretamente à distância a ser percorrida pelo LFR, em vez da tensão aplicada ao motor, proporcionando maior consistência em diferentes cenários ambientais.

## SISTEMA DE CONTROLE

A Figura 3 apresenta a interface do servidor WebSocket utilizando o sistema baseado no ESP32. O WebSocket permite a comunicação em tempo real entre o ESP32 e a interface baseada na web. Foram implementados cinco parâmetros ajustáveis (*sliders*):

- **Proporcional:** Ajusta a constante proporcional do controlador PID. Os valores do *slider* variam de 0,0001 a 2;
- **Derivativo:** Ajusta a constante derivativa do controlador PID. Os valores do *slider* variam de 0,001 a 10;
- **Velocidade:** Ajusta a potência máxima aplicada aos motores. Os valores do *slider* variam de 0 a 255;
- **Inércia:** Representa o incentivo para que o LFR avance. Os valores do *slider* variam de 0 a 255;
- **Limite (Threshold):** Ajusta o limiar de cor utilizado na calibração dos sensores. Valores menores indicam menor tolerância à variação de cor. Os valores do *slider* variam de 0 a 4095.

**Figura 3** – Interface do servidor WebSocket


Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O botão **stop** funciona como um botão de emergência, desligando a alimentação dos motores. O botão **save data** permite salvar todos os dados lidos pelo navegador em um arquivo no formato CSV para análise posterior. A interface possibilita o ajuste fino dos parâmetros do controle PID, da velocidade dos motores e das configurações dos sensores em tempo real, por meio de uma conexão WebSocket com o ESP32.

## RESULTADOS

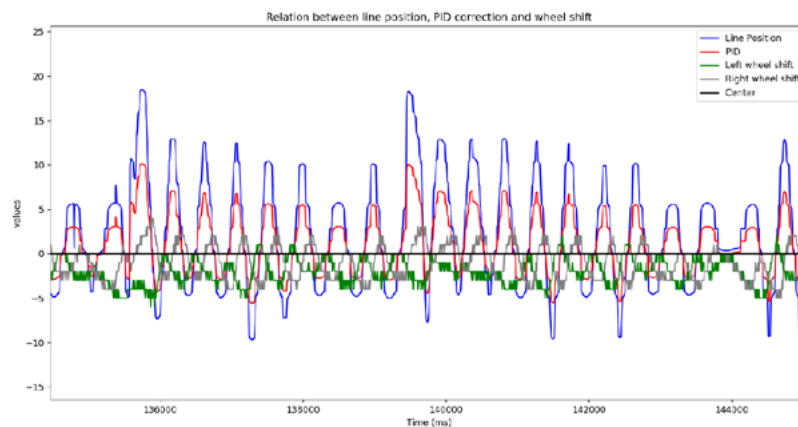
Os resultados apresentados nesta seção fornecem uma análise aprofundada do desempenho do LFR, com foco no comportamento de parâmetros-chave, como a posição da linha, a saída do controle PID, o deslocamento da roda esquerda e o deslocamento da roda direita. Esses parâmetros auxiliam no processo de tomada de decisão para melhorar a eficiência e a estabilidade do LFR.

A partir da análise dos dados coletados, avalia-se como o controlador PID mantém a trajetória do robô, de que forma as variações

na posição relativa entre o robô e a linha interferem no PID, e como o PID atua diretamente sobre as rodas do robô. Além disso, a interação entre esses parâmetros é analisada com o objetivo de identificar possíveis áreas de otimização e melhorias. Também é possível incluir outras variáveis, como cada componente individual do PID, a fim de obter percepções mais detalhadas e compreender como os ajustes dos parâmetros influenciam a resposta do robô às mudanças na posição da linha.

A Figura 4 apresenta o comportamento de um LFR por meio de sinais de controle e pontos de dados. A linha azul (Posição da Linha) representa a posição detectada da linha que o robô está seguindo. Os grandes saltos indicam mudanças bruscas na posição detectada, causadas por curvas acentuadas ou ruído nos sensores. É importante observar que o PID e o deslocamento das rodas estão diretamente correlacionados, uma vez que o PID é o principal fator responsável por determinar a trajetória do robô.

## SUMÁRIO

**Figura 4 - Análise gráfica**


Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A linha vermelha (PID) representa a saída do controlador PID, que é responsável por ajustar a direção do LFR. Os trechos planos

indicam períodos em que o controlador PID não está realizando correções. Variações bruscas no sinal do PID podem indicar correções inadequadas ou instabilidade na sintonia do controlador.

As linhas verde e cinza (deslocamento da roda esquerda e da roda direita) mostram a rotação medida em cada roda e representam as ações executadas pelo robô para ajustar sua direção. Durante curvas, essas linhas tendem a se distanciar uma da outra, ou até mesmo apresentar sinais opostos em curvas mais acentuadas.

## DISCUSSÃO

Coleta de dados durante treinamentos e competições. Uma das formas mais eficazes de aprimorar o software e o hardware do LFR é por meio da coleta contínua de dados durante as sessões de treinamento e as competições reais. Esses dados possibilitam o aprendizado e melhorias iterativas na análise dos sensores, na otimização da sintonia do PID e na avaliação do desempenho dos motores.

Ajustes e melhorias em tempo real durante a competição. Em ambientes competitivos, as condições costumam ser imprevisíveis. A realização de modificações em tempo real no *firmware* do LFR, nos algoritmos de controle e nas configurações de hardware permite maior adaptabilidade e melhora o desempenho do sistema.

Um LFR bem otimizado requer um ciclo contínuo de coleta, análise e aprimoramento de dados. Ao explorar informações obtidas durante treinamentos e competições, é possível realizar ajustes tanto no software quanto no hardware. Além disso, os ajustes em tempo real durante as competições garantem que o robô consiga se adaptar a condições imprevisíveis, aumentando seu desempenho geral e sua confiabilidade. Essas melhorias iterativas contribuem para o desenvolvimento de um LFR mais eficiente e competitivo.

## CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a avaliação de um LFR construído sobre uma arquitetura híbrida que integra capacidades de controle autônomo e manual. Utilizando o microcontrolador ESP32, um arranjo de sensores infravermelhos e uma interface baseada na web, o sistema oferece adaptabilidade em tempo real por meio do ajuste remoto de parâmetros como constantes do PID, velocidade dos motores e limiares dos sensores.

Ao permitir ajustes em tempo real e suportar melhorias instantâneas durante as competições, o sistema proposto supera as limitações tradicionais dos LFRs e apresenta uma implementação prática adequada tanto para aplicações competitivas quanto industriais. Embora ameaças à validade, como variabilidade ambiental e ruído nos sensores, tenham sido reconhecidas, estratégias de mitigação foram propostas para garantir a confiabilidade do sistema. Em trabalhos futuros, pretende-se aprimorar a interface web. Isso inclui a integração de gráficos em tempo real dos dados dos sensores e do PID, visualização dinâmica de erros e *feedback* mais descritivo para cada parâmetro de controle.

## REFERÊNCIAS

PAKDAMAN, M.; SANAATIYAN, M. M.; GHAHROUDI, M. R. A line follower robot from design to implementation: technical issues and problems. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND AUTOMATION ENGINEERING (ICCAE), 2., 2010. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2010. v. 1, p. 5-9.

WANG, C.; DU, D. Research on logistics autonomous mobile robot system. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONICS AND AUTOMATION, 2016. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2016. p. 275-280.

# 12

*Caio Alves da Cruz Andrade  
José Alberto Díaz Amado  
Crescencio Lima  
João Erivando Soares Marques  
Cléia Libarino  
Luis Alves Correia Filho  
Kenedy Marconi Geraldo Santos*

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE RECONHECIMENTO  
DE ALFABETO EM LIBRAS  
BASEADO EM *LANDMARKS*  
E REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS**

## INTRODUÇÃO

A Língua Brasileira de Sinais (Libras) é o principal meio de comunicação da comunidade surda no Brasil, sendo reconhecida legalmente como língua oficial. O reconhecimento automático desses sinais desempenha um papel fundamental na promoção da acessibilidade e inclusão digital, permitindo a interação entre surdos e ouvintes sem a necessidade constante de intérpretes humanos. No entanto, o desenvolvimento de sistemas robustos enfrenta desafios significativos, como a dependência de ambientes controlados e a alta sensibilidade a ruídos visuais, incluindo variações de iluminação e fundos complexos.

A literatura recente apresenta diversas estratégias para o reconhecimento de língua de sinais, divididas principalmente entre abordagens baseadas em imagens (*pixels*) e baseadas em geometria (esqueletos) (Araújo, 2023; Claudino, 2022). Em contraste, as abordagens híbridas têm ganhado destaque. Kumar *et al.* (2023) utilizaram o *MediaPipe* em conjunto com CNNs para a Língua de Sinais Americana (ASL). Já para os sinais dinâmicos de Silva (2023), utilizando *MediaPipe* com redes recorrentes (LSTM) aplicados à base V-Librasil.

Este trabalho propõe uma abordagem mais eficiente focada nas coordenadas vetoriais das mãos. Utilizando o *MediaPipe* para extração de coordenadas articulares, é possível criar representações vetoriais dos gestos, isolando a informação relevante do ruído ambiental. O objetivo é desenvolver um classificador baseado em Redes Neurais Densas (MLP) capaz de interpretar o alfabeto manual de Libras com alta precisão e baixo custo computacional.

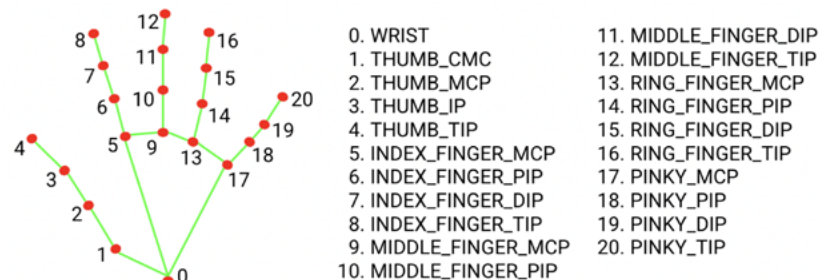
## METODOLOGIA

Para garantir a diversidade e robustez do modelo, foi realizada a fusão de quatro conjuntos de dados (*datasets*): o Libras\_CNN, (Pardinho, 2025), como base principal, complementado pelo Alfabeto em Libras (Silva, 2025), ASL Alphabet (Grassknotted, 2025) e Synthetic ASL Alphabet, (Lexset, 2025). Embora a Libras e a ASL (Língua de Sinais Americana) sejam línguas distintas, muitos sinais estáticos do alfabeto manual possuem morfologia semelhante, permitindo o aproveitamento das imagens para ampliar a variabilidade de fundos e iluminação. Devido a diferenças estruturais, as letras f, g, h, m, n, p, q, t e x do alfabeto ASL foram excluídas do conjunto de treinamento.

Diferentemente de abordagens que processam a imagem bruta, este trabalho optou por uma estratégia baseada em geometria. Utilizou-se o *framework MediaPipe Hands* (Google, 2025) para a detecção das mãos e extração de coordenadas.

### SUMÁRIO

**Figura 1 - Landmarks do esqueleto da mão no MediaPipe Hands**



Fonte: Google (2025).

Para garantir a consistência espacial dos dados, realizou-se uma normalização das coordenadas, de modo que o marco 0, o punho, seja sempre considerado a origem (0, 0, 0).

$$P'_i = P_i - P_0 \quad (2)$$

Onde  $P_i = (x_i + y_i + z_i)$  é a coordenada do landmark e  $i$  e  $P_0$  é a coordenada do punho.

A arquitetura proposta baseia-se nos fundamentos das redes *feedforward* descritos por Goodfellow *et al.* (2016). A topologia da rede foi definida empiricamente visando o equilíbrio entre capacidade de generalização e custo computacional, consistindo em: Camada de Entrada: 126 neurônios. Camadas Ocultas: Duas camadas densas. A primeira com 128 neurônios e a segunda com 64 neurônios, ambas utilizando a função de ativação ReLU *Rectified Linear Unit* para introduzir não linearidade. Regularização: Para evitar o sobreajuste *overfitting*, foram aplicadas camadas de *Batch Normalization* e *Dropout* com taxa de 0,3 entre as camadas ocultas. Camada de Saída: Neurônios correspondentes às classes do alfabeto, utilizando a função de ativação *Softmax* para gerar a distribuição de probabilidade das previsões.

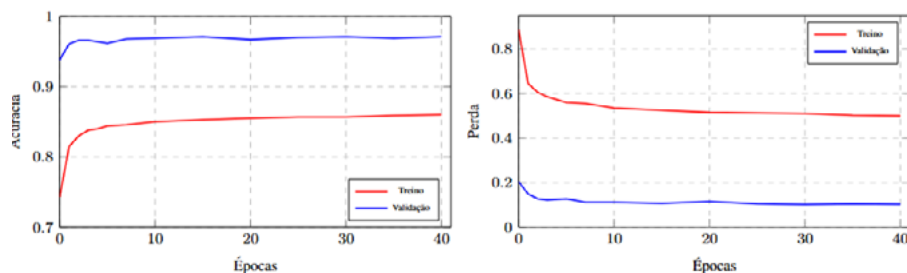
O treinamento utilizou o otimizador Adam com taxa de aprendizado de 0,001 e a função de perda *Categorical Crossentropy*. Técnicas de *Early Stopping* foram empregadas para interromper o treinamento caso a perda de validação não diminuísse após 10 épocas consecutivas (Prechelt, 1998, p. 55-69). Para o monitoramento e ajuste do modelo, foram utilizadas a Função de Perda e a Acurácia. A função de perda adotada foi a *Categorical Crossentropy* (Goodfellow *et al.*, 2016). Para a avaliação de desempenho do classificador em cada uma das classes do alfabeto, utilizou-se o *F1-Score* e a Matriz de Confusão (Powers, 2011).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

O modelo foi treinado por 41 épocas, sendo o processo interrompido pelo mecanismo de *Early Stopping* para evitar o sobreajuste. O classificador alcançou uma acurácia final de 86,01% no conjunto

de treino e 97,11 % no conjunto de validação. A perda de validação estabilizou-se em 0,103. Ver Figura 2.

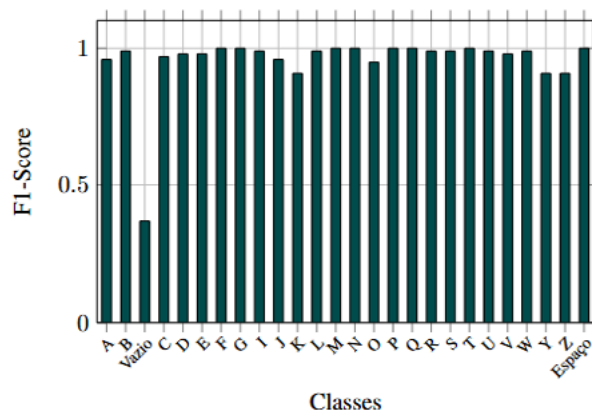
**Figura 2 - Curva de Acúrcia e Perda**



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A Figura 3 apresenta F1-Score individual para cada classe do alfabeto, além das classes auxiliares "Vazio" e "espaço". Observa-se uma consistência notável na classificação das letras estáticas, com a maioria das classes (A-Z) superando 0,95 de F1-Score. Resultados perfeitos ou próximos da perfeição foram obtidos em letras morfologicamente complexas como "G", "P", "Q" e "T".

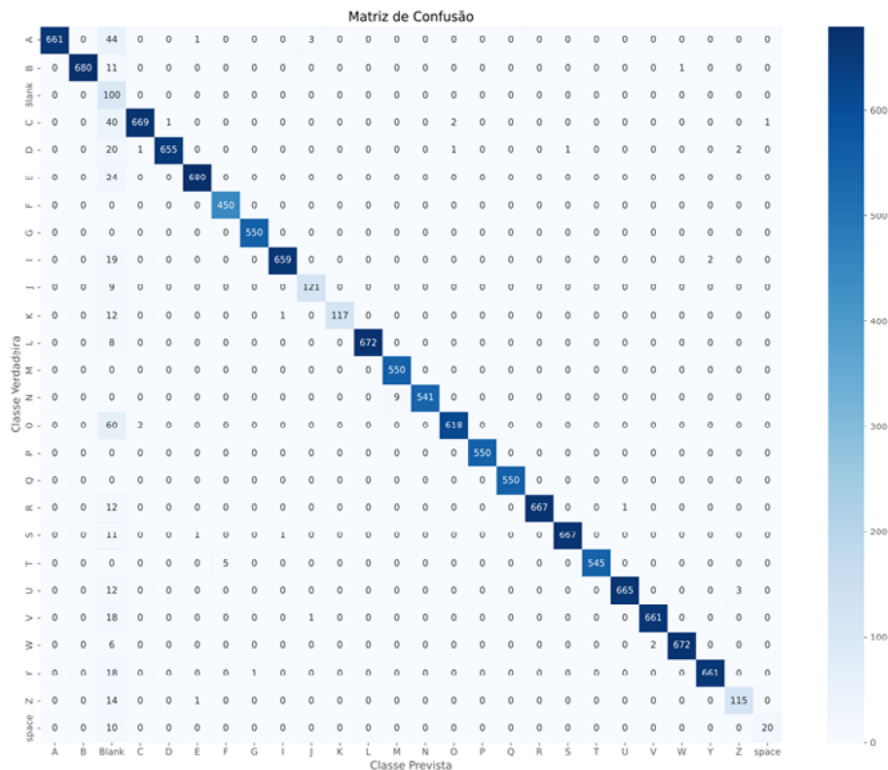
**Figura 3 - F1-Score detalhado por classes**



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Na matriz de confusão apresentada na Figura 4, observa-se uma diagonal principal fortemente preenchida, confirmando a acurácia global elevada. Um ponto de destaque é a robustez morfológica, em que pares de letras possivelmente problemáticos em abordagens baseadas em *pixels*, como "A" vs "S" ou "M" vs "N", apresentaram taxas de confusão desprezíveis neste modelo. Isso valida a hipótese de que os vetores de *landmarks* capturam a posição tridimensional das falanges com precisão superior à extração de características visuais 2D.

Figura 4 - Matriz de Confusão do modelo

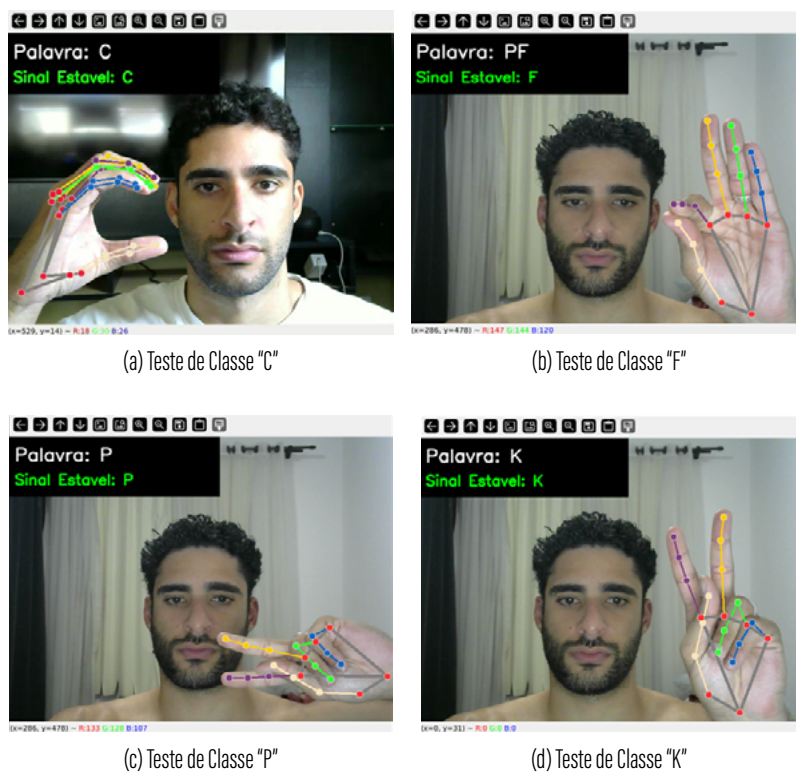


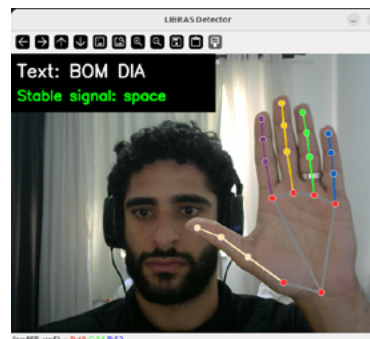
Fonte: elaborado pelo autor (2025).

## TESTES EM TEMPO REAL

Para validar a aplicabilidade do sistema, implementou-se um algoritmo de janela deslizante que considera uma predição estável apenas se ela for a moda estatística das últimas 20 predições com confiança superior a 70%. O sistema demonstrou capacidade de formar palavras isoladas corretamente. Além disso, também foi possível realizar a concatenação das palavras para formar frases, como é demonstrado nas seguintes figuras.

Figura 5 - Teste do sistema de detecção de LIBRAS em tempo real





(e) Teste de Frase

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

## ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO COMPUTACIONAL

A eficiência superior da abordagem proposta em relação às Redes Neurais Convolucionais (CNNs) tradicionais pode ser explicada pela drástica redução na dimensionalidade dos dados de entrada. A complexidade da MLP é baseada puramente em multiplicações matriciais simples. Comparativamente, a entrada da MLP proposta representa uma redução de dados de aproximadamente 1.194 vezes em relação a uma entrada de imagem padrão. A comparação da proposta com uma típica CNN pode ser vista na Tabela 1.

**Tabela 1 – Comparativo Teórico de Complexidade**

Parâmetros	CNN Típica (Img)	Proposta (Vetorial)
Entrada	≈ 150.000 (Pixels)	126 (Coordenadas)
Processamento	Convolução (Pesado)	Mult. Matricial (Leve)
Dependência	GPU Recomendada	CPU Suficiente
Sensibilidade	Luz, Fundo, Pele	Apenas Geometria
Tamanho Modelo	> 20 MB	< 1 MB

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 2 mostra o desempenho do modelo proposto em relação a outros trabalhos no mesmo segmento. A principal vantagem, contudo, reside na eficiência computacional, como explicado anteriormente.

**Tabela 2** – Comparação com trabalhos relacionados

<b>Autores</b>	<b>Método</b>	<b>Entrada</b>	<b>Precisão</b>
Araujo, (2023)	CNN 2D	Imagem Bruta	98%
Kumar, (2023)	MediaPipe + CNN	<i>Skeleton</i>	100%
Claudino, (2022)	CNN + Filters	Imagem Bruta	91%
Método proposto	<b>MediaPipe + MLP</b>	<i>Skeleton</i>	<b>97%</b>

*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

## CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e validação de um sistema de reconhecimento de alfabeto em Libras focado na viabilidade de implementação em dispositivos de baixo custo. A abordagem proposta, ao separar a detecção espacial da mão da classificação do gesto, demonstrou ser uma alternativa superior ao processamento direto de imagens brutas, alcançando uma acurácia de validação de 97,11% e F1-Score consistente acima de 0,95 para a maioria das letras estáticas.

Os resultados validam a hipótese inicial de eficiência computacional. A análise comparativa demonstrou que a utilização de vetores de coordenadas reduz a dimensionalidade dos dados de entrada em mais de 1.000 vezes em comparação a Redes Neurais Convolucionais (CNNs) típicas. Essa característica elimina a dependência de hardware dedicado, permitindo inferência em tempo real em CPUs convencionais e tornando a tecnologia acessível para dispositivos móveis

de entrada, por exemplo. Além disso, o uso de *landmarks* provou ser eficaz na eliminação de ruídos ambientais, garantindo robustez contra variações de fundo e iluminação que frequentemente degradam a performance de modelos baseados em *pixels*.

Como limitações, a análise detalhada por classe revelou que a arquitetura *Feedforward* possui restrições intrínsecas para interpretar estados de transição ou ausência de sinal. O baixo desempenho na classe “Vazio” indica que a informação puramente geométrica, sem contexto temporal, é insuficiente para distinguir o repouso de gestos não mapeados.

Trabalhos futuros focarão na superação das barreiras de classificação através da otimização dos *datasets*, buscando mitigar a incerteza em estados de transição. Além disso, o objetivo central desta pesquisa é a integração do módulo de reconhecimento de Libras na arquitetura do robô de serviço assistivo “Nara” (Santana, 2025). Atualmente, o sistema Nara opera com interfaces web e comandos de voz via *chatbot* e de forma autônoma (GIPAR, 2024). A incorporação da visão computacional para interpretação de sinais ampliará suas capacidades de interação multimodal, permitindo que a cadeira de rodas atenda usuários com diferentes níveis de mobilidade e fala de forma inclusiva e autônoma.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. O. **2DCNN**: Reconhecimento de sinais de libras utilizando uma rede neural convolucional 2D. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2023.

CLAUDINO, M. M. **Reconhecimento de Libras em frames estáticos de vídeos utilizando CNN e técnicas de pré-processamento de imagens**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

GIPAR. **Development of an Interactive System for Control and Monitoring of an Autonomous Wheelchair**. NARA, 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NYQ3DNYkVbQ>. Acesso em: 24 dez. 2025.

GOODFELLOW, L.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep Learning**. Cambridge, MA: MIT Press, 2016.

GOOGLE. **MediaPipe Hands**. 2025. Disponível em: <https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/guide>. Acesso em: 13 ago. 2025.

GRASSKNOTED. **ASL Alphabet**. [S. l.]: Kaggle, 2025. Disponível em: <https://www.kaggle.com/datasets/grassknotted/asl-alphabet>. Acesso em: 13 ago. 2025.

KUMAR, R.; BAJPAI, A.; SINHA, A. **Mediapipe and CNNs for Real-Time ASL Gesture Recognition**. [S. l.]: arXiv, 2023. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.05296>. arXiv preprint arXiv:2305.05296, 2023.

LEXSET. **Synthetic ASL Alphabet**. [S. l.]: Kaggle, 2025. Disponível em: <https://www.kaggle.com/datasets/lexset/synthetic-asl-alphabet>. Acesso em: 13 ago. 2025.

PARDINHO, A. **Libras\_CNN Dataset**. [S. l.]: Kaggle, 2025. Kaggle. Disponível em: <https://www.kaggle.com/datasets/allanpardinho/libras-cnn>. Acesso em: 13 ago. 2025.

POWERS, D. M. W. Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. **Journal of Machine Learning Technologies**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 37-63, 2011.

PRECHELT, L. Early stopping – but when? *In*: ORR, G. B.; MÜLLER, K.-R. (ed.). **Neural Networks: Tricks of the Trade**. Berlin: Springer, 1998. p. 55-69.

SANTANA, J. M. *et al.* Design and Implementation of an Interactive System for Service Robot Control and Monitoring. **Sensors**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 987, fev. 2025. DOI: 10.3390/s25040987.

SILVA, D. *et al.* Um sistema de reconhecimento de sinais isolados de libras utilizando Mediapipe Holistic e LSTM. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E COMPUTACIONAL, 20, 2023. **Anais** [...]. [S. l.: s.n.], 2023.

SILVA, E. **Alfabeto em Libras Dataset**. [S. l.]: Roboflow Universe, 2023. Disponível em: <https://universe.roboflow.com/elainesilva/alfabeto-em-libras-qrvnw>. Acesso em: 13 ago. 2025.

# 13

*Amanda Oliveira Alves  
Maicon Daniel Silva Santana  
Geovana Pires Araujo Lima  
Ingrid Winkler  
Paulo Eduardo Ambrósio*

**DIRETRIZES PARA A CRIAÇÃO  
E DESENVOLVIMENTO  
DE CONTEÚDOS  
COM VÍDEOS 360°:  
ESTUDO DE CASO NO TURISMO VIRTUAL**

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de ambientes imersivos tem impactado diversas áreas. A realidade virtual, em especial, tem se mostrado uma aliada importante para experiências inclusivas e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo no que se refere à educação de qualidade, ao desenvolvimento de competências digitais e à redução de desigualdades no acesso à tecnologia (Chamusca *et al.*, 2023; ONU, 2024).

A Realidade Virtual (RV) tem se consolidado como uma tecnologia promissora no turismo, oferecendo experiências imersivas que simulam a presença física em diferentes locais. Ao permitir a exploração de destinos de forma envolvente, a RV contribui para superar limitações geográficas, físicas e estruturais, ampliando o acesso ao patrimônio cultural e natural. Além disso, possibilita a promoção de práticas sustentáveis ao reduzir deslocamentos e seus impactos ambientais, proporcionando uma nova forma de vivenciar o turismo (Cameron *et al.*, 2021).

No sul da Bahia, o sistema de cultivo cabruca, que combina a produção de cacau com a preservação da Mata Atlântica, representa uma paisagem cultural e ecológica de grande relevância. Apesar de seu valor, o acesso às fazendas ainda é limitado por estradas precárias e custos de deslocamento, restringindo a visitação e a visibilidade da região (Sambuichi *et al.*, 2012; IBGE, 2025). Nesse contexto, o uso da RV surge como alternativa para aproximar o público desse território e fortalecer o turismo sustentável e acessível (Freitas, 2022).

Este estudo propõe a criação de vídeos imersivos em 360° do sistema cabruca, focando na formulação de diretrizes práticas para iniciantes na produção de conteúdos de realidade virtual. Os objetivos incluem desenvolver orientações replicáveis, produzir vídeos

educativos que mostrem a cabruca e suas etapas de processamento do cacau, e validar a eficácia das práticas em campo, garantindo experiências imersivas, confortáveis e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente em termos de consumo responsável, valorização cultural e conscientização ambiental (Chinazzi *et al.*, 2020; Ouerghemmi *et al.*, 2023; Lacerda *et al.*, 2013; ONU, 2024).

## METODOLOGIA

Este estudo buscou responder: Quais as melhores abordagens para criadores iniciantes de visitas imersivas em vídeos 360°, no contexto do turismo sustentável em fazendas de cacau? (Alves, 2025). A metodologia adotada foi Design Science Research (DSR), seguindo seis etapas: identificação do problema, definição de objetivos da solução, desenvolvimento do artefato, demonstração prática, avaliação com testes e ajustes, e comunicação dos resultados (Peppers *et al.*, 2007).

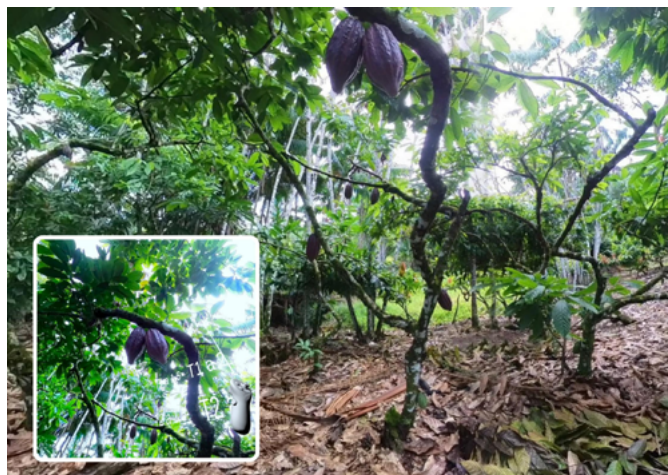
As gravações foram realizadas com uma câmera Insta360 X3 em tripé estático, com cobertura esférica (360° × 180°) e objetos a pelo menos 1,5m da lente para reduzir distorções. A movimentação entre áreas foi feita com a câmera desligada, registrando apenas cenas estáticas. A experiência do usuário foi projetada para espectadores sentados em cadeira giratória, utilizando *headsets* Meta Quest 2 e 3, explorando passivamente o ambiente ao girar no próprio eixo. A pós-produção utilizou Insta360 Studio, Unity e Sidequest para correções de costura, exposição e integração em dispositivos de realidade virtual, garantindo conforto, imersão e validação das diretrizes.

## RESULTADOS

Durante a produção dos vídeos 360° nas fazendas de cacau surgiram problemas técnicos recorrentes: deformações em objetos próximos à lente, costuras desalinhadas e variações intensas de iluminação. Esses problemas foram mitigados por testes em campo, ajustes na altura do tripé, posicionamento estratégico da câmera e otimizações de configuração. Identificou-se que 106cm é uma altura adequada para usuários em pé, enquanto 89cm promove maior conforto para usuários sentados, favorecendo a sensação de presença.

A pós-produção mostrou-se essencial: o Insta360 Studio foi empregado para corrigir costuras, suavizar transições e equalizar exposições (Figuras 1, 2 e 3). As correções reduziram visivelmente as distorções produzidas quando a linha de costura coincidia com o tripé, e o planejamento de horários minimizou problemas de iluminação.

**Figura 1** - Comparação entre imagens antes e depois do afastamento da câmera em relação ao objeto



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

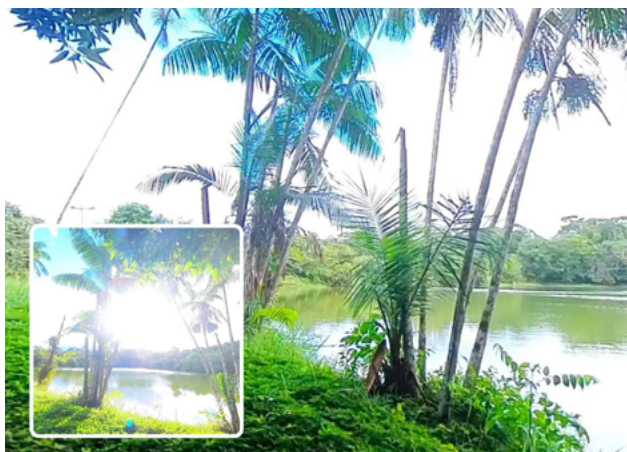
**Figura 2 - Correção de costura utilizando ferramentas de pós-produção**



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

Como resultados concretos, foram produzidos vídeos imersivos da cabruca registrando a plantação, o sistema agroflorestal e as etapas do processamento do cacau, e um conjunto de diretrizes práticas para iniciantes.

**Figura 3 - Iluminação corrigida com escolha adequada do horário**



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

Síntese das recomendações:

- ajustar a altura do tripé à posição do usuário (sentado/em pé);
- afastar a câmera de objetos próximos para evitar deformações;
- planejar gravações em horários com iluminação estável;
- manter área livre ao redor da câmera e usar tripé fixo;
- corrigir costuras em pós-produção e testar com usuários.

A aplicação dessas diretrizes resultou em vídeos tecnicamente superiores e mais confortáveis, com potencial educativo e turístico para visitas virtuais da cabruca.

## CONCLUSÃO

A criação de diretrizes para vídeos imersivos em 360° representou um avanço no turismo virtual em fazendas de cacau no sistema cabruca. Com a metodologia Design Science Research (DSR) foram identificadas lacunas na literatura, desenvolvido um artefato funcional e produzidos vídeos imersivos validados em campo. Recomendações práticas, como ajuste da altura do tripé e otimização da iluminação, facilitaram a produção de conteúdos mais realistas e acessíveis, especialmente para iniciantes.

As diretrizes tornam o processo mais eficiente e replicável para o turismo rural. Estudos futuros devem avaliar empiricamente a percepção dos usuários e incorporar recursos como áudio espacial e *feedback* tátil, ampliando a inclusão e a conexão com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## REFERÊNCIAS

ALVES, Amanda O. **Turismo imersivo em fazendas de cacau**: diretrizes para a criação e desenvolvimento de conteúdos em 360°. 2025. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2025.

CAMERON, J., GOULD, G., MA, A. **360 essentials**: A beginner's guide to immersive video storytelling. [S. l.]: Toronto Metropolitan University, 2021. Disponível em: <https://pressbooks.library.torontomu.ca/360essentials/>.

CHAMUSCA, I. L.; FERREIRA, C. V.; MURARI, T. B.; APOLINARIO JR, A. L.; WINKLER, I. Towards sustainable virtual reality: Gathering design guidelines for intuitive authoring tools. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 2924, 2023.

CHINAZZI, M.; DAVIS, J. T.; AIELLI, M.; GIOANNINI, C.; LITVINOVA, M.; MERLER, S.; PIONTTI, A. P.; MU, K.; ROSSI, L.; SUN, K. The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (covid-19) outbreak. **Science**, [s. l.], v. 368, n. 6489, p. 395-400. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aba9757>.

FREITAS, F. R. **O uso de dispositivos de realidade virtual para conexão de crianças e adolescentes com a natureza**: análise de uma experiência com vídeos 360 graus em uma escola de ensino fundamental em Porto Alegre. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/248599>.

IBGE (2025). **Produção de cacau na Bahia**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cacau/ba>.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; JUNIOR, J. A. V. A. Design science research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 20, p. 741-761. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/3CZmL4JlxLmxCv6b3pnQ8pq/>.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS 12**: consumo e produção responsáveis. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>.

OUERGHEMMI, C.; ERTZ, M.; BOUSLAMA, N.; TANDON, U. The impact of virtual reality (vr) tour experience on tourists' intention to visit. **Information**, [s. l.], v. 14, n. 10, p. 546, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/info14100546>.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERIEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>.

SAMBAIUCHI, R. H. R.; VIDAL, D. B.; PIASENTIN, F. B.; JARDIM, J. G.; VIANA, T. G.; MENEZES, A. A.; MELLO, D. L. N.; AHNERT, D.; BALIGAR, V. C. Cabruca agroforests in southern bahia, brazil: tree component, management practices and tree species conservation. **Biodiversity and Conservation**, [s. l.], n. 21, p. 1055-1077, 2012. D OI: <https://doi.org/10.1007/s10531012-0240-3>.

## SUMÁRIO

# 14

*Alex Vinicius Souza Araújo  
Maicon Daniel Silva Santana  
Wagner Freitas e Silva  
Gabriel Marques de Andrade  
Amanda Oliveira Alves  
Francisco Bruno Souza Oliveira  
Geovana Pires Araujo Lima  
Paulo Eduardo Ambrósio*

## **AMBIENTES VIRTUAIS COMO FERRAMENTAS DE APOIO À APRENDIZAGEM:**

**MUSEU VIRTUAL DA INDEPENDÊNCIA DA BAHIA  
E MUSEU VIRTUAL DE TECNOLOGIAS IMERSIVAS**

## INTRODUÇÃO

Com os avanços das tecnologias imersivas nos últimos anos, a busca por experiências virtuais que combinam elementos físicos e digitais tem crescido consideravelmente. Essas experiências transportam os usuários para ambientes que proporcionam sensações mais profundas e envolventes, ampliando as formas de interação com o mundo digital. Nesse cenário, torna-se relevante criar espaços virtuais com fins educativos, que permitam a compreensão e o uso crítico dessas tecnologias.

No campo educacional, as experiências de aprendizagem imersiva têm ganhado destaque, impulsionado pela massificação do uso de tecnologias remotas. A realidade virtual contribui para uma educação mais inclusiva, conectada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como os relacionados à educação de qualidade e ao uso responsável de recursos Chamusca *et al.* (2023).

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de dois espaços virtuais educativos, com objetivo de oferecer ambientes acessíveis que reúnam, de forma didática, conhecimentos diversos, utilizando a realidade virtual (RV) como ferramenta de apoio para educadores e desenvolvedores no uso dessas tecnologias no ensino.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A RV pode ser definida como um ambiente tridimensional, gerado por computador, que simula a presença física do usuário em um espaço virtual. Trata-se de uma experiência imersiva, interativa e em tempo real, capaz de promover participação ativa mesmo de indivíduos com limitações físicas e cognitivas (Laver *et al.*, 2018).

## AMBIENTES COLABORATIVOS COM REALIDADE VIRTUAL: PLATAFORMA *SPATIAL*

O Spatial.io é uma plataforma que oferece ambientes virtuais interativos acessíveis por meio de navegadores *web*, *smartphones*, *tablets* e dispositivos de realidade virtual, promovendo alta acessibilidade e usabilidade. Essa ferramenta tem se destacado no apoio à aprendizagem colaborativa e imersiva, permitindo a criação de salas de aula virtuais, simulações, experiências interativas e ambientes educativos com alcance global.

A integração do Spatial.io no contexto educacional contribui significativamente para o aumento do envolvimento dos alunos, melhoria da compreensão conceitual e fortalecimento da literacia digital, evidenciando seu grande potencial como tecnologia de suporte ao ensino contemporâneo (Hidayati *et al.*, 2025).

No contexto educacional e profissional, o *Spatial* tem sido utilizado como uma alternativa a plataformas convencionais de videoconferência, oferecendo maior sensação de presença e interatividade. Ao simular interações naturais em espaços tridimensionais, representa um avanço do conceito de metaverso interativo e funcional (Spatial, 2024).

## DESENVOLVIMENTO

Nesta seção, será apresentado o processo de desenvolvimento de cada um dos museus temáticos, que foram desenvolvidos como ferramentas de apoio à aprendizagem em realidade virtual. As diferentes ferramentas utilizadas apresentam alternativas relevantes

para desenvolvimento de ambientes em realidade virtual, indicando a existência de possibilidades para a operacionalização dos ambientes educacionais.

## MUSEU VIRTUAL DA INDEPENDÊNCIA DA BAHIA (MVIB)

O projeto “Museu Virtual da Independência da Bahia” teve como objetivo central o desenvolvimento de um ambiente imersivo voltado a estudantes dos ensinos fundamental e médio, visando fomentar o interesse pela história da Bahia, no que concerne aos eventos que culminaram no 2 de julho, data referente à Independência da Bahia.

Foi estruturado para atuar como uma ferramenta de preservação do patrimônio histórico-cultural por meio da reprodução digital de acervos e arquitetura, oferecendo um suporte didático dinâmico que supere barreiras geográficas, utilizando a Realidade Virtual como interface de aprendizado.

Seguindo-se a metodologia estabelecida, definido o escopo temático (evento de 23 de junho de 1822 na cidade de Cachoeira), seguiu-se para a pesquisa bibliográfica para construção da fundamentação teórica, que se baseou em uma rigorosa curadoria realizada por historiadores, que levantaram dados na literatura sobre os elementos significativos que compuseram o evento histórico. Para construção do ambiente virtual, foram catalogadas informações de figuras ilustres e eventos marcantes, além de uma iconografia comparativa entre os registros da cidade atualmente e durante a ocorrência dos fatos históricos.

O ambiente é dividido em quatro salas. A sala 1 apresenta o Cinema como estratégia para apresentar ao visitante uma pequena

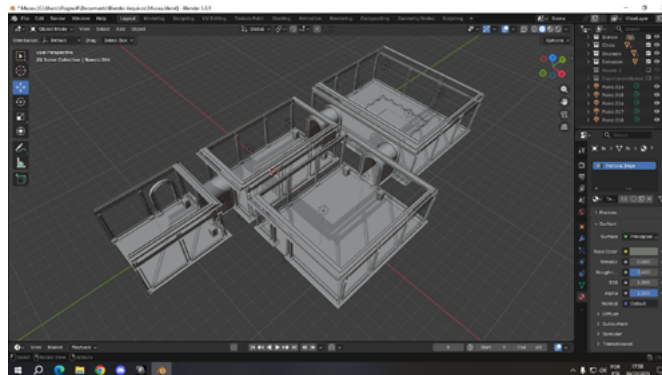
contextualização da temática apresentada no museu, e contém um vídeo de cerca de três minutos sobre a independência da Bahia e o papel da cidade de Cachoeira. A segunda sala dedica-se às figuras históricas relevantes e oferece diversos painéis informativos que podem ser explorados interativamente por meio das descrições textuais e do suporte de áudio. A sala 3 apresenta imagens históricas da cidade de Cachoeira, com registros de época exibindo igrejas e pontos turísticos, e a sala 4 exibe imagens desses mesmos espaços nos tempos atuais, como contraponto entre o antigo e o atual. As salas 3 e 4 operam em conjunto para permitir essa comparação e o contraste entre os diferentes momentos.

## CONSTRUÇÃO DO AMBIENTE DO MVIB

No desenvolvimento técnico, utilizou-se o software *Blender* para a criação modular do ambiente e dos ativos digitais. A escolha da ferramenta justifica-se pela sua versatilidade em fluxos complexos de modelagem e escultura sem custos de licenciamento.

A materialização do museu fundamentou-se no desenvolvimento integral de ativos digitais personalizados, assegurando que a totalidade dos elementos visíveis fosse modelada para garantir coesão estética e imersão profunda. Esse esforço de modelagem estendeu-se desde a infraestrutura arquitetônica básica até componentes decorativos e funcionais minuciosos, como molduras de quadros, fitas delimitadoras e sistemas de iluminação.

**Figura 1 - Organização técnica do *layout* modular e ativos decorativos no ambiente Blender**



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

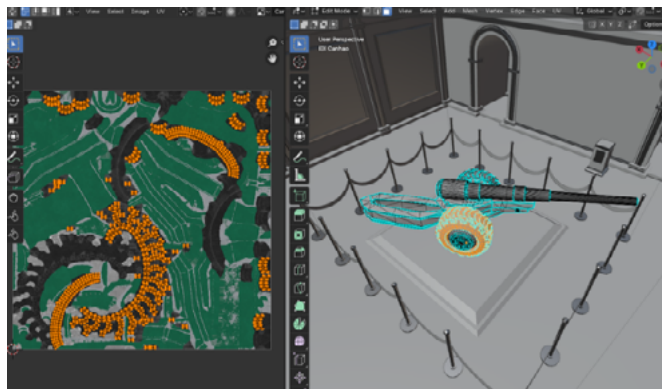
Conforme evidenciado na organização técnica do *layout* (Figura 1), a estruturação modular permitiu uma composição de cena complexa onde cada peça contribui para o realismo do ambiente educativo. Essa infraestrutura completa serve como o cenário necessário para destacar o artefato principal do museu: o canhão. Sendo o item de maior relevância histórica no acervo digitalizado, o canhão recebeu o tratamento mais intensivo de detalhamento poligonal e refinamento de texturas, contrastando sua complexidade técnica com a sobriedade da arquitetura envolvente.

Para assegurar o realismo visual sem comprometer a eficiência algorítmica do processamento em tempo real, aplicou-se a técnica de otimização de malha. O controle da contagem de polígonos é vital para manter uma alta taxa de quadros (*framerate*), fator determinante na mitigação da cinetose (*motion sickness*) em ambientes de RV.

Um dos pilares do realismo no projeto é a aplicação de texturas *Physically Based Rendering* (PBR). Esse processo exige um mapeamento UV rigoroso (Figura 2), no qual a geometria 3D é “planificada” em coordenadas 2D para permitir que texturas de materiais como bronze, madeira e metal sejam aplicadas sem distorções visuais, a fim

de garantir uma experiência mais fidedigna ao usuário. Após a etapa de texturização, o modelo foi exportado para o motor Unity, onde a integração, iluminação e os sistemas de colisão foram configurados.

**Figura 2** - Detalhe do UV Mapping e *layout* de texturização do modelo do canhão



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

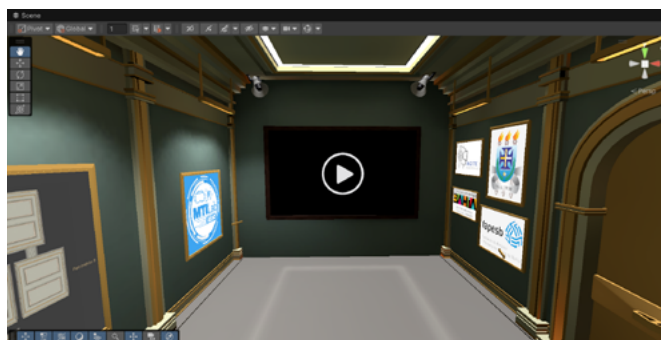
Para a materialização do ambiente, a Unity Engine foi escolhida por sua versatilidade no suporte a dispositivos de Realidade Virtual (VR). A acessibilidade foi priorizada ao longo do processo, evidenciado através de guias visuais e ativação de áudio por proximidade, auxiliando usuários com dificuldades de leitura ou limitações ergométricas (uso de óculos de grau sob o *headset*).

A fase de teste do ambiente revelou uma vulnerabilidade na imersão quando o usuário transpunha os limites do ambiente. Visto que a liberdade de movimento no espaço real impossibilita o bloqueio físico do jogador pelo software, a colisão direta resultava no atravessamento da geometria. Em razão disso, implementou-se um sistema de *fade* (escurecimento) da câmera ao detectar colisões com a geometria do cenário, preservando a imersão e impedindo a visualização de falhas fora do mapa.

A Figura 3 mostra a Sala 1, primeiro ambiente apresentado ao visitante, que encontra o cinema, com o vídeo de contextualização

do museu. Nesse ambiente, o visitante interage com o vídeo, dando início à visitação.

**Figura 3** - Sala 1: primeiro ambiente apresentado ao visitante



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

A Figura 4 apresenta uma imagem que demonstra a visão do usuário na Sala 2, evidenciando o painel informativo textual e o emissor de áudio posicionados ao lado da imagem principal, que permitem o acesso ao conteúdo narrado simultaneamente à visualização da obra.

**Figura 4** - Quadro da Maria Felipa que compõe o acervo do museu virtual



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

A Sala 3, apresentada na Figura 5, exibe em destaque a réplica modelada em 3D de um canhão histórico, símbolo da independência da Bahia. Pode-se verificar, no cenário ao fundo, a fotografia de referência do artefato real, ladeada por símbolos da independência e registros arquitetônicos das igrejas de Cachoeira.

**Figura 5 - Réplica do canhão na sala 3**



*Fonte: elaborado pelo autor (2025).*

## MUSEU VIRTUAL DE TECNOLOGIAS IMERSIVAS (MVTI)

O projeto Museu Virtual de Tecnologias Imersivas (MVTI) foi idealizado para apresentar a evolução das tecnologias imersivas, bem como aplicações nas diversas áreas, além de potenciais futuros para uso das tecnologias no contexto educacional por meio de um ambiente virtual construído utilizando-se o *Spatial*, uma plataforma voltada para experiências imersivas em realidade virtual e metaverso.

Para a criação do museu, primeiramente realizou-se uma pesquisa bibliográfica com base em fontes da literatura científica e técnica, com o objetivo de levantar informações sobre a história,

evolução e aplicações das tecnologias de realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR). Esse levantamento contemplou desde os primeiros dispositivos desenvolvidos até os mais recentes lançamentos, incluindo também as principais aplicações dessas tecnologias nos campos da saúde, dos jogos digitais e da educação. Com as informações organizadas, a equipe iniciou o processo de modelagem do ambiente.

## CONSTRUÇÃO DO AMBIENTE

O ambiente básico do MVTI foi editado a partir de um modelo já disponibilizado na plataforma e adaptado para receber os conteúdos relacionados à evolução das tecnologias imersivas.

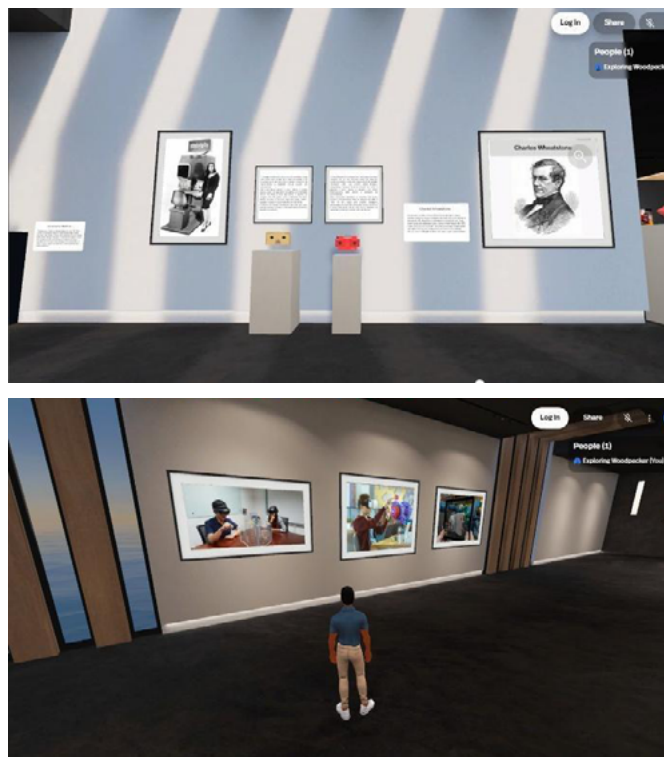
Durante o processo, foram utilizadas ferramentas como *GIMP* e *Canva* para a edição de textos e imagens, assegurando a personalização visual dos quadros expositivos. A curadoria de modelos tridimensionais levou em consideração as limitações da versão gratuita do *Spatial*, o que demandou a escolha de objetos otimizados para garantir a fluidez da experiência imersiva. O site *Sketchfab* foi utilizado como fonte gratuita de objetos 3D, incluindo modelos de óculos de realidade virtual de diferentes marcas e períodos históricos, que foram estrategicamente distribuídos nas salas virtuais para complementar os elementos visuais e textuais.

Textos explicativos foram inseridos para narrar a história e função das imagens presentes, compondo um ambiente educativo que visa apresentar de forma clara e interativa as diferentes aplicações e avanços das tecnologias imersivas. Um destaque do ambiente é a sala dedicada exclusivamente ao *Pokémon GO*, por ser um marco na popularização da realidade aumentada. Também foram apresentados modelos de óculos VR desde os primeiros dispositivos até os mais recentes, além de modelos futuristas exibidos em imagem.

## MVTI – CONHECENDO O MUSEU VIRTUAL

A partir da entrada do MVTI, o visitante pode caminhar observando as imagens e lendo os textos explicativos disponibilizados, que podem ser ampliados para facilitar a leitura. As informações históricas, bem como pessoas relevantes e tecnologias precursoras, são apresentadas de forma objetiva e de fácil interação, como ilustrado nas imagens da Figura 6.

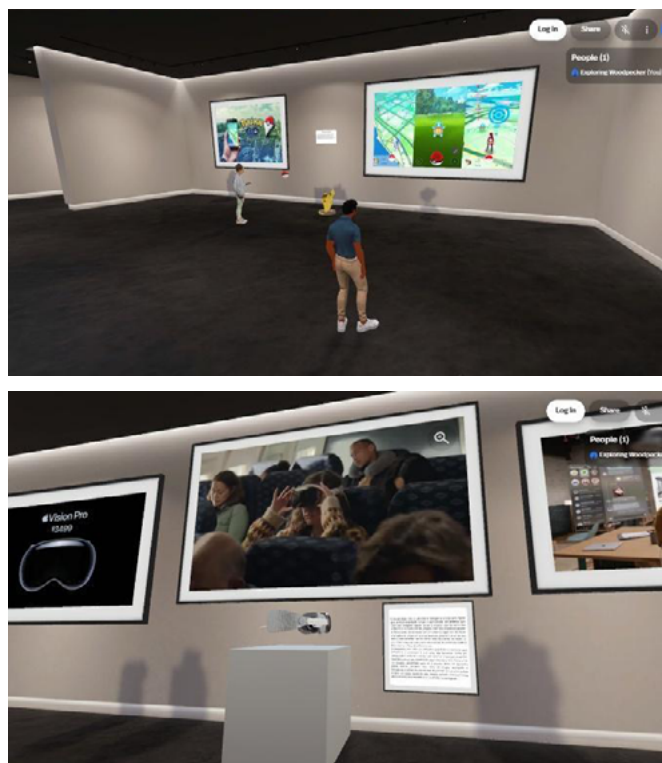
**Figura 6** – À esquerda: Seção histórica das tecnologias imersivas.  
À direita: Aplicações de tecnologias imersivas em engenharia



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O visitante também tem a oportunidade de interagir com objetos 3D inseridos no museu, como na seção sobre o Pokémon GO e sobre os óculos Apple Vision Pro, destacadas na Figura 7. O uso do *Spatial* para construção desse ambiente permitiu a criação do MVTI de forma que possa ser visitado utilizando tanto óculos de realidade virtual como computadores ou celulares, com destaque para o uso da tecnologia imersiva.

**Figura 7** - À esquerda: apresentação do Pokémon GO.  
À direita: apresentação do Apple Vision Pro



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Ao vivenciar o museu através dos óculos de realidade virtual, o visitante pode imergir no ambiente e desfrutar do conteúdo apresentado de forma autônoma e interativa. Além disso, o museu permite visitas simultâneas, promovendo interações entre interessados no tema ou visitas mediadas por um guia.

O ambiente construído no *Spatial* tem como vantagens o fato de ser gratuito, *online*, possuir uma interface intuitiva e permitir o compartilhamento de elementos 3D por outros usuários. Isso facilita o acesso e estimula a criação de novos espaços educacionais em realidade virtual.

## CONCLUSÃO

Os avanços das tecnologias imersivas têm proporcionado aumento no interesse dos usuários e no número de aplicações possíveis, mesmo ainda existindo desafios que precisam ser superados para a popularização. Considerando isso, este artigo teve como objetivo desenvolver espaços virtuais educativos utilizando ferramentas distintas: a plataforma *Spatial* e a combinação Unity e Blender.

O processo envolveu pesquisa bibliográfica, definição de áreas temáticas e a construção do ambiente virtual, e gerou, ao fim, um ambiente educativo que privilegia a imersão e a popularização da realidade virtual. A plataforma *Spatial* apresenta como vantagens a gratuidade do acesso, bem como a possibilidade de compartilhamento de elementos 3D, o que facilita na construção de ambientes virtuais e acelera o processo de modelagem.

Ela se apresenta como uma interface amigável, o que aumenta o grau de acessibilidade da tecnologia e permite que mais pessoas tenham acesso aos ambientes imersivos. Percebe-se, porém, que a plataforma *Spatial* demanda cuidado na otimização dos ambientes e

dos elementos, de forma a não gerar sobrecarga no processamento dos elementos, que pode limitar algumas aplicações mais complexas.

A Unity Engine provou-se extremamente eficiente para prototipagem rápida e polimento, devido à vasta disponibilidade de *assets* e documentação comunitária robusta. Entretanto, como desvantagem técnica, o motor exige um esforço de otimização considerável e configurações complexas de pipeline para atingir níveis elevados de fotorrealismo.

Um desafio percebido no desenvolvimento do ambiente em RV foi a necessidade de atenção nas interações incluídas, considerando a propensão à cinetose (*motion sickness*) em usuários novatos, que pode provocar mal-estar, como náuseas e enjoos. Para mitigar o desconforto, no desenvolvimento do ambiente houve uma restrição da locomoção do usuário, restringindo a um sistema de teletransporte, eliminando a movimentação fluida artificial.

## REFERÊNCIAS

BEGAULT, D. R.; WENZEL, E. M.; ANDERSON, M. R. **Development and evaluation of spatial audio systems for nasa's virtual environment workstation (view)**. NASA Ames Research Center, 1994. (NASA Technical Report NASA-CR-1994-208704).

CHAMUSCA, I. L. *et al.* Towards sustainable virtual reality: Gathering design guidelines for intuitive authoring tools. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 2924, 2023.

HIDAYATI, A. *et al.* Optimization of metaverse technology for immersive learning using the spatial.io platform. In: AL GHAZALI INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., 2025. **Anais** [...]. Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Barat, 2025. p. 547-554.

LAYER, K. E. *et al.* Virtual reality for stroke rehabilitation. **Stroke**, [s. l.], v. 49, n. 4, p. e160-e161, 2018.

SPATIAL. **The metaverse for culture and community**. 2024. Disponível em: <https://www.spatial.io/>. Acesso em: 3 jul. 2025.

# 15

*Carina Santos Silveira  
France Ferreira de Souza Arnaut  
Paulo Fernando de Almeida Souza*

## **ACESSIBILIDADE AO PATRIMÔNIO CULTURAL:**

*FRAMEWORK* DE DESENVOLVIMENTO  
DE TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA INCLUSÃO  
DE DEFICIENTES VISUAIS  
À PERCEPÇÃO DE ACERVOS ARTÍSTICOS

## INTRODUÇÃO

A Constituição Federal de 1988 elevou o patrimônio cultural ao *status* de direito fundamental, classificando-o como parte do meio ambiente cultural. Em um Estado Democrático de Direito, o acesso, a participação e a utilização do acervo cultural são pilares essenciais, pois a participação efetiva dos cidadãos no processo político decisório depende do seu conhecimento das necessidades sociais e da clareza dos objetivos históricos a serem alcançados.

O patrimônio cultural serve como constructo de identidade. O Artigo 216 da Constituição Federal de 1988 exige que o patrimônio seja referência de identidade dos diferentes grupos formadores da sociedade, afastando a ideia de uma cultura homogênea. Para Dantas (2015 *apud* Campos; Preve; Souza, 2015), a perspectiva desloca o foco dos bens que se impõem por sua monumentalidade para a dinâmica de atribuição de sentidos e valores, ou seja, para as referências culturais que sujeitos diferenciados consideram significativas. Tais referências podem ter sentidos atribuídos a suportes tangíveis ou não, como narrativas, conhecimentos e objetos de valor afetivo. Nesse contexto, a preservação do patrimônio é um alicerce da democracia real.

Em uma visão contemporânea, as obras de arte físicas (tridimensionais como esculturas e telas), são bens materiais que carregam valor imaterial (memória, ação social e identidade). Porém, a tutela do patrimônio cultural não se limita à materialidade, mas se estende ao processo de criação de significados e à garantia de um *habitat* cultural, exigindo políticas públicas inovadoras, integradoras e tecnologicamente avançadas para garantir a memória e a diversidade na formação integral do indivíduo.

Para Cavalcante (2007), a digitalização de acervos e documentos históricos gera patrimônio digital, que possibilita o acesso

universal e a coletivização dos acervos, sem os riscos de roubo, depredação ou danificação inerentes à manipulação dos bens originais. A digitalização em três dimensões surge como uma proposta de aplicação de tecnologias emergentes para fins de documentação, estudo, difusão e de democratização de bens culturais, seja por meio físico da reprodução das obras (através de processos de manufatura aditiva), seja pela apresentação digital destas (a exemplo de aplicações em projeções, ambientes de metaverso e jogos digitais). Desse modo, o que antes estaria restrito a um ambiente físico, pode ser acessado de diversas formas, promovendo a aproximação da cultura a diferentes públicos, incluindo todos no processo de construção de identidades de um povo.

No contexto da acessibilidade, “a pessoa com deficiência tem direito à cultura, ao esporte, ao turismo e ao lazer em igualdade de oportunidades como as demais pessoas” (Art 42 do Estatuto da Pessoa com Deficiência, Lei nº 13.146/2015). De acordo com a Sociedade Brasileira de Oftalmologia, estima-se que 1,1 milhão de pessoas no país sejam cegas. De acordo com dados do IBGE de 2010, no Brasil 528.624 pessoas são incapazes de enxergar (cegos); 6.056.654 pessoas possuem baixa visão ou visão subnormal (grande e permanente dificuldade de enxergar) e outros 29 milhões de pessoas declararam ter alguma dificuldade permanente de enxergar, ainda que usando óculos ou lentes.

De acordo com o artigo 3º do Estatuto da Pessoa com Deficiência, a acessibilidade é definida como a

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

O acesso a informações culturais, no que tange a aspectos perceptivos das obras e espaços culturais, é reduzido ou anulado aos deficientes visuais. Ainda de acordo com o artigo 42 do Estatuto da Pessoa com Deficiência, "o poder público deve adotar soluções destinadas à eliminação, à redução ou à superação de barreiras para a promoção do acesso a todo patrimônio cultural observada às normas de acessibilidade, ambientais e de proteção do patrimônio histórico e artístico nacional". Monumentos, esculturas, pinturas, vestimentas, dentre tantas outras representações artísticas e culturais, deveriam estar acessíveis em relação à percepção de texturas, formas, volumes, cheiros e aspectos auditivos.

O tombamento é o principal instrumento de proteção da integridade física dos bens materiais, que justifica a sua tutela diferenciada, por serem considerados objetos portadores de valor, em razão de acompanhar (imaterialmente) os testemunhos e suportes da memória e da identidade da nação brasileira.

Os bens tombados de natureza material podem ser imóveis, como as cidades históricas, sítios arqueológicos e paisagísticos, e bens individuais ou móveis, como coleções arqueológicas, acervos museológicos, documentais, bibliográficos, arquivísticos, videográficos, fotográficos e cinematográficos (IPHAN).

A Constituição Federal de 1988 elevou o patrimônio cultural ao *status* de direito fundamental, classificando-o como parte do meio ambiente cultural. Esta estabelece um dever solidário de conservação, impondo ao Poder Público e à coletividade a responsabilidade de defender e preservar o patrimônio cultural para as presentes e futuras gerações. O tombamento impõe limitações de poderes inerentes ao direito de propriedade (usar e dispor), recaindo sobre o proprietário da obra o dever de conservar, bem como a proibição de intervenção física ao bem tombado, sem a prévia autorização estatal.

Deste modo, a tecnologia de digitalização tridimensional apresenta o viés promissor para a reprodutibilidade de obras tombadas, mas suscita cuidados quanto à preservação, no que tange à aplicação da técnica utilizada e ao rigor metodológico necessário para evitar interferências danosas à obra e reproduções desapropriadas do original. Assim, busca-se garantir que o arquivo digital gerado não venha a ser interpretado como uma intervenção despropositada do bem cultural.

Com o objetivo de possibilitar ampliação do acesso à cultura, este projeto se propõe à estruturação e aplicação de tecnologias emergentes, com a proposta de criação de um *framework* metodológico escalável, que permita a digitalização e impressão tridimensional de acervos artísticos tombados, mantendo a fidedignidade da obra e sem comprometer suas características originais, garantindo a função do ponto de vista de acesso à informação.

## ACESSIBILIDADE CULTURA: IMPERATIVO OU NECESSIDADE?

A acessibilidade cultural se estabelece no Brasil como um imperativo social e legal, impulsionando a necessidade de desenvolver metodologias que garantam acesso pleno das pessoas com deficiência aos bens culturais. A articulação entre tecnologia e inclusão reflete os mandatos de direito à cultura em igualdade de oportunidades, em atenção ao Estatuto da Pessoa com Deficiência. O campo da cultura, dada a predominância de uso da linguagem visual, apresenta uma defasagem em soluções para deficientes, e é latente a aplicação de processos de adaptação mútua entre a sociedade e a pessoa com deficiência, visando a equiparação de oportunidades, consubstanciando o marco social e tecnológico para inclusão.

A transformação digital impulsionou o emprego da tecnologia em diversas esferas do conhecimento, no entanto, a discussão não deve se concentrar apenas em tecnicidades, mas também refletir sobre as implicações sociais e históricas dessa relação, fomentando que as pessoas com deficiência sejam protagonistas e participantes ativos. O meio digital é reconhecido como um potencial para aproximar e promover acesso e colaboração, e a digitalização de acervos culturais pode permitir o acesso e o compartilhamento de forma ampliada.

Insere-se no campo da acessibilidade a necessidade de práticas de implementação de soluções orientadas ao design, articulando investigação teórica, experimentação técnica e validação em contexto real. Desse modo, compreende-se a necessidade de estruturação de etapas de desenvolvimento dessas soluções através de um *framework* metodológico capaz de orientar processos de acessibilidade em museus por meio da conversão de bens culturais físicos em recursos táteis impressos em 3D, permitindo, através de tecnologia assistiva, a inclusão.

O *framework* adota ciclos sucessivos de concepção, teste, avaliação e refinamento, permitindo que o resultado obtido seja progressivamente ajustado a partir da observação empírica, do retorno de usuários e da análise crítica dos resultados obtidos em cada etapa do processo. Considera as técnicas de fotogrametria e manufatura aditiva para obtenção dos resultados, e desse modo o *framework* passa a ser intitulado como metodologia FOTAM – fotogrametria tátil para manufatura aditiva.

O campo empírico da pesquisa situa-se em ambientes museológicos, considerando suas especificidades espaciais, curatoriais e operacionais. O objeto de estudo não se restringe às obras do acervo, mas abrange o processo completo de transformação dessas obras em representações táteis acessíveis, uma necessidade social latente para a inclusão. A unidade de análise corresponde ao fluxo técnico

e conceitual que se inicia na seleção do bem cultural e se encerra na disponibilização de um recurso tátil impresso em 3D, acompanhado de documentação técnica e orientações de uso educativo.

A etapa que antecede o percurso metodológico para digitalização e reprodução tridimensional de bens culturais está no levantamento de requisitos museológicos e de acessibilidade. Esta etapa tem como objetivo identificar restrições, necessidades e oportunidades relacionadas ao contexto museológico e ao público-alvo. São considerados aspectos como conservação do acervo, limitações de manuseio, condições ambientais, fluxo de visitação e estratégias de mediação cultural. No campo da acessibilidade, são definidos requisitos ligados à leitura tátil, ergonomia, segurança no manuseio, clareza formal e pertinência pedagógica. Esses requisitos orientam decisões posteriores de captura, modelagem e fabricação, garantindo que o recurso final não seja apenas uma réplica geométrica, mas um artefato funcional do ponto de vista do acesso à informação.

## ESTRUTURAÇÃO DO *FRAMEWORK* METODOLÓGICO – FOTAM

A estruturação da metodologia FOTAM é orientada pela adoção prioritária de softwares livres e de código aberto, decisão fundamentada em princípios de sustentabilidade, viabilidade econômica, reprodutibilidade científica e autonomia institucional. Essa opção metodológica não se configura como escolha meramente instrumental, mas como posicionamento epistemológico alinhado às práticas de design responsável e socialmente comprometido, especialmente no contexto de instituições museológicas públicas.

Do ponto de vista técnico, a metodologia FOTAM é concebida a partir de ferramentas livres para todas as etapas do *pipeline*,

incluindo captura e processamento fotogramétrico, visualização e tratamento de nuvem de pontos, reconstrução e edição de malhas tridimensionais, bem como preparação de arquivos para manufatura aditiva. A utilização de softwares de código aberto permitiu acesso integral aos parâmetros de processamento, possibilitando ajustes finos, rastreabilidade das decisões técnicas e controle sobre a qualidade dos resultados gerados.

Sob a perspectiva do design sustentável, a adoção de software livre contribuiu para a redução de custos diretos e indiretos associados a licenças proprietárias, favorecendo a continuidade dos processos ao longo do tempo e a escalabilidade do *framework* em contextos com restrições orçamentárias. Desse ponto de vista, a escalabilidade do método permite que diferentes instituições possam romper as barreiras econômica e tecnológica que frequentemente limitam a adoção de soluções de acessibilidade.

No âmbito metodológico, o uso de ferramentas abertas reforça a coerência entre meio e finalidade da metodologia FOTAM. Ao propor um processo voltado à ampliação do acesso ao patrimônio cultural, a metodologia adota uma infraestrutura tecnológica igualmente acessível, transparente e adaptável. Essa coerência é materializada na possibilidade de auditoria dos fluxos de trabalho, na documentação dos parâmetros utilizados e na padronização de procedimentos que podem ser apropriados, modificados e replicados por outras equipes de projeto.

Do ponto de vista do design digital e da fabricação, o emprego de software livre favorece a integração entre etapas, minimizando perdas de informação entre a geração da nuvem de pontos, a reconstrução da malha tridimensional e a preparação do modelo para impressão 3D. A interoperabilidade entre formatos abertos e a compatibilidade com padrões amplamente difundidos na comunidade de fabricação digital fortalecem a robustez técnica da metodologia, sem comprometer sua flexibilidade conceitual.

Assim, a estruturação da metodologia FOTAM consolida-se a partir de uma abordagem técnica e eticamente orientada, na qual o uso de software livre opera como vetor de sustentabilidade, baixo custo operacional e democratização tecnológica. Essa escolha sustenta a proposta da FOTAM como uma metodologia replicável, economicamente viável e alinhada às demandas voltadas à acessibilidade, à preservação do patrimônio e à inclusão cultural.

## PROCEDIMENTOS DE CAPTURA FOTOGRAMÉTRICA

Os procedimentos de captura fotogramétrica são estruturados a partir do uso de dispositivos móveis, com ênfase na viabilidade técnica, na redução de custos e na adequação ao contexto museológico. Especificamente para este estudo, a aquisição das imagens é realizada por meio de um smartphone iPhone 15 Pro Max, equipamento selecionado em função de suas capacidades avançadas de registro fotográfico. O equipamento permite gerar imagens em alta resolução, possibilitando controle consistente de foco e exposição, garantindo estabilidade das imagens.

A captura das imagens é conduzida com o apoio do aplicativo móvel RealityScan, empregado como ferramenta de aquisição fotográfica sistematizada para fins de reconstrução tridimensional. O uso desse aplicativo permite a organização orientada da captura, favorecendo a cobertura integral da obra museológica e a manutenção de sobreposição adequada entre imagens sucessivas. Ao todo, são geradas aproximadamente 250 fotografias, obtidas a partir de múltiplos ângulos e diferentes alturas em relação à obra, de modo a assegurar redundância visual suficiente para o processamento fotogramétrico.

Previamente à captura, a obra e o ambiente devem ser preparados de modo a reduzir interferências visuais e garantir condições homogêneas de iluminação, respeitando as restrições impostas pelo contexto museológico de preservação do patrimônio. A estratégia de aquisição considera a manutenção de distância relativamente constante entre a câmera e o objeto, bem como variações angulares progressivas ao longo de órbitas horizontais e verticais. Atenção especial deve ser dedicada às regiões de maior complexidade geométrica, como reentrâncias, bordas e detalhes estruturais relevantes para a compreensão formal da peça, mantendo cuidado e não alterar a geometria da superfície original.

Durante o processo de captura, é necessário assegurar estabilidade do enquadramento e consistência dos parâmetros automáticos do dispositivo móvel, evitando variações abruptas de foco ou exposição que comprometem o alinhamento das fotografias na etapa de processamento. Cada sessão de captura é acompanhada por registros descritivos, incluindo o número de imagens obtidas, condições de iluminação e observações técnicas relativas ao comportamento óptico do objeto.

O processamento dos dados fotográficos e a geração da nuvem de pontos são realizados por meio do software RealityScan, desenvolvido pela Epic Games, adotado neste estudo como ferramenta principal para o processamento fotogramétrico. A escolha desse software está alinhada à lógica metodológica FOTAM, uma vez que possibilita a reconstrução tridimensional a partir de imagens capturadas por dispositivos móveis, mantendo controle técnico sobre as etapas de alinhamento, densificação e verificação da qualidade geométrica dos dados gerados. Dessa forma, a adoção do aplicativo RealityScan em conjunto com o iPhone 15 Pro Max evidencia a adequação do uso de tecnologias móveis acessíveis em comparação a equipamentos dedicados, demonstrando que a captura fotogramétrica de peças museológicas pode ser realizada

de maneira consistente, mesmo em contextos de baixo custo e alta restrição operacional.

## PROCESSAMENTO DOS DADOS E GERAÇÃO DE NUVEM DE PONTOS

Inicialmente, o conjunto de aproximadamente 250 imagens é submetido ao processo de alinhamento automático das câmeras, no qual o RealityScan calcula os parâmetros internos e externos de cada tomada, identificando pontos homólogos entre as fotografias. Essa etapa resulta na geração da nuvem de pontos esparsa utilizada como base para a avaliação preliminar da consistência do conjunto de imagens capturadas, permitindo identificar falhas de cobertura, desalinhamentos ou regiões com baixa redundância visual.

Após a validação do alinhamento, é realizada a densificação, na qual o software gera a nuvem densa de pontos, representando de forma mais detalhada a geometria da obra museológica. Nessa fase já se observa o modelo 3D digital. A qualidade dessa nuvem é avaliada a partir de critérios como continuidade espacial, densidade nas áreas de maior complexidade formal e coerência dimensional em relação às proporções reais do objeto. Eventuais ruídos decorrentes de sombras, reflexos ou limitações ópticas podem ser registrados para posterior tratamento nas etapas subsequentes.

O uso do RealityScan permite ainda a visualização e inspeção da nuvem de pontos antes da reconstrução da malha tridimensional, funcionando como etapa intermediária de controle de qualidade dentro do *pipeline* metodológico. Essa verificação antecipada mostra-se fundamental para evitar a propagação de erros geométricos ao longo do processo, contribuindo para maior precisão e confiabilidade na etapa de reconstrução da malha.

Dessa forma, a adoção do software RealityScan para o processamento e geração da nuvem de pontos consolida-se como elemento técnico central do *framework* metodológico proposto, evidenciando a viabilidade de fluxos fotogramétricos baseados em imagens capturadas por dispositivos móveis e reforçando a coerência entre acessibilidade tecnológica, rigor metodológico e sustentabilidade operacional.

## RECONSTRUÇÃO, TRATAMENTO E OTIMIZAÇÃO DA MALHA TRIDIMENSIONAL

Em etapa subsequente à captura, a reconstrução, o tratamento e a otimização da malha tridimensional são realizados utilizando o software Blender, que possui código aberto, ampla divulgação acadêmica e compatibilidade com fluxos de trabalho voltados à fabricação digital. A partir da nuvem de pontos processada, a malha tridimensional inicial é importada para o Blender, onde passa por procedimentos sistemáticos de limpeza e correção topológica. Essas operações incluíram a remoção de artefatos residuais, o fechamento de superfícies abertas e a correção de inconsistências geométricas, com o objetivo de garantir uma malha fechada, coerente e tecnicamente adequada aos processos de manufatura aditiva.

Na etapa de otimização, são realizadas simplificações controladas da geometria, priorizando a legibilidade tátil e a robustez estrutural do modelo. Microdetalhes considerados irrelevantes ao toque devem ser atenuados ou eliminados, enquanto elementos formais essenciais à compreensão da obra museológica devem ser preservados ou discretamente realçados. Também são ajustadas espessuras mínimas e áreas críticas, assegurando resistência mecânica e segurança durante o manuseio. Desse modo, o uso

do Blender possibilita a transição do modelo tridimensional de caráter estritamente geométrico para um modelo tátil funcional, alinhado aos requisitos de acessibilidade, durabilidade e viabilidade de fabricação por manufatura aditiva, bem como a fidedignidade da obra.

## PREPARAÇÃO DOS MODELOS PARA IMPRESSÃO 3D DE RECURSOS TÁTEIS

A preparação dos modelos tridimensionais para impressão 3D de recursos táteis é realizada por meio do software de fatiamento da superfície. A adoção desse software insere-se na etapa final do *pipeline* metodológico, na qual o modelo tridimensional otimizado é traduzido em instruções técnicas compatíveis com o processo de impressão.

No ambiente de impressão 3D, o modelo é importado e avaliado quanto à orientação de impressão, buscando minimizar a necessidade de estruturas de suporte em áreas destinadas à exploração tátil. Foram definidos parâmetros técnicos relacionados à altura de camada, espessura de paredes e preenchimento interno, considerando simultaneamente a resolução necessária à leitura tátil e a resistência mecânica do objeto final.

A etapa de preparação inclui ainda a verificação da integridade geométrica do modelo, a análise de possíveis falhas de fatiamento e a estimativa de tempo e consumo de material. Essas informações subsidiam decisões relativas à viabilidade produtiva, especialmente em contextos museológicos com restrições orçamentárias e operacionais. Ao final do processo, os arquivos são exportados em formato adequado à impressão 3D, acompanhados de uma ficha técnica contendo escala, parâmetros de fabricação e orientações básicas de pós-processamento.

## PROTOTIPAGEM, TESTES E VALIDAÇÃO COM USUÁRIOS

Os protótipos impressos são avaliados por meio de sessões mediadas de uso, nas quais usuários exploram os recursos táteis a partir de tarefas orientadas, conforme Figura 1, onde à esquerda temos a pessoa com baixa visão realizando exploração tátil de réplica tridimensional impressa em 3D. À direita, pessoa cega realizando exploração tátil do mesmo modelo. Torna-se relevante, para a validação funcional do modelo, incluir no processo FOTAM parcerias com pessoas ou instituições que auxiliem na fase de testes. Observam-se aspectos como clareza da forma, conforto no manuseio, facilidade de orientação e compreensão das informações transmitidas.

**Figura 1** - Avaliação tátil de modelo 3D com 58cm de altura, gerado através da FOTAM



*Fonte: elaboração própria, a partir de registro fotográfico realizado durante a pesquisa (2025).*

A Figura 2 registra pessoas cegas realizando exploração tátil de réplica tridimensional impressa em 3D, obtida através da FOTAM. Os resultados desses testes subsidiaram ajustes sucessivos nos modelos e no próprio *framework* metodológico. Pontos críticos identificados de forma recorrente são incorporados como recomendações, critérios ou alertas nas etapas finais da metodologia.

**Figura 2** - Exploração tátil de modelo tridimensional com 1,15m de altura, gerado através da metodologia FOTAM



Fonte: elaboração própria, a partir de registro fotográfico realizado durante a pesquisa (2025).

## DOCUMENTAÇÃO, SISTEMATIZAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DO *FRAMEWORK*

A etapa final da metodologia FOTAM dedica-se à sistematização do conhecimento produzido ao longo do processo. São organizados padrões de documentação, nomenclatura, versionamento e armazenamento dos arquivos digitais, visando sua adoção por museus e laboratórios de fabricação.

O *framework* (Figura 3) consolidado apresenta-se como um guia metodológico estruturado, capaz de orientar a produção de recursos táteis acessíveis a partir de bens culturais, articulando rigor técnico, princípios de acessibilidade e viabilidade operacional. Essa consolidação permite que o método extrapole o contexto específico da pesquisa e possa ser adaptado a diferentes realidades museológicas.

Figura 3 - Framework da metodologia FOTAM



Fonte: elaboração própria (2025).

## DESAFIOS E OPORTUNIDADES

A busca pela acessibilidade cultural, em um contexto social despreparado para a inclusão em espaços museais, sejam eles físicos ou virtuais, revela um campo em intensa transformação, marcado tanto por desafios estruturais e conceituais, quanto por oportunidades oferecidas pelas tecnologias emergentes. A Metodologia FOTAM, validada considerando as variáveis de controle durante o processo de criação do *framework*, bem como variáveis independentes, manipuladas e controladas para testar os resultados e a variável dependente que se consolidou com a impressão 3D e o efeito tátil por ela proporcionado, mostra-se como uma oportunidade para mudanças paradigmáticas. A prototipagem rápida permite a criação de réplicas táteis de obras de arte com alta precisão dimensional, atuando como tecnologia assistiva. Além de facilitar a fruição pelo toque, esta tecnologia permite o estudo detalhado de técnicas de conservação sem intervenção invasiva nas obras originais.

## SUMÁRIO

O primeiro desafio resvala sobre o paradigma custodialista que se mantém nos museus. Esse modelo, focado na salvaguarda das obras e monumentos, contribuiu para o afastamento do público e gera crise de significado identitário aos grupos sociais do entorno. A história e a cultura são “guardados” para poucos, esse processo patrimonialista geralmente resulta no “congelamento” do bem por receio de descaracterização, impedindo ou dificultando o acesso. A mudança de paradigma é um processo complexo, e práticas antigas e novas podem coexistir para manutenção, preservação e disseminação do patrimônio cultural. A acessibilidade não deve ser vista como uma ameaça à autenticidade do patrimônio, mas sim como um agente de preservação. A aplicação de recursos assistivos ainda é pouco vista, e as tecnologias não podem ser tidas como inacessíveis do ponto de vista econômico e técnico.

Cabe ainda considerar o desafio de incluir os usuários protagonistas – pessoas com deficiência (PcD) –, de forma participativa e colaborativa em todo processo de implementação de soluções acessíveis. É imperativo que as avaliações automatizadas por softwares sejam complementadas pela avaliação humana e a contribuição dos usuários para a compreensão integral da experiência. A metodologia FOTAM e as tecnologias utilizadas suscitam um caminho tangível à prática da inclusão.

A Museologia está em um processo de metamorfose, alinhada à sociedade da informação e ao conceito de Novo Museu (conceito discutido no Conselho Internacional de Museus – ICOM). Essa visão exige a substituição do paradigma custodial pelo paradigma pós-custodial, informacional e científico, que transfere o foco do objeto para o usuário-visitante como protagonista. O museu moderno tem a oportunidade de se configurar como um espaço de vida, reinventando a cultura e promovendo a universalidade do acesso à informação. As tecnologias emergentes representam uma oportunidade para romper as barreiras informacionais que limitam a experiência. O avanço no

uso de tecnologias emergentes para inclusão social, em especial a inclusão de deficientes visuais, garante o direito de acesso informacional a todas as pessoas, e é inegável o potencial da manufatura aditiva para a indústria da cultura e para a preservação do patrimônio.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. H. S. de; MARANHÃO, A. C. K. Narrativas digitais no design: experiências imersivas no metaverso a partir da exposição Rock Metalverso Brasília. **Revista GEMInIS**, [s. l.], v. 16, p. 337-354, 2025. ISSN: 2179-1465. DOI: 10.14244/2179-1465.RG.2025v16p337-354.

ALVES, C. A.; MORAES, M. Entre histórias e mediações: um caminho para acessibilidade estética em espaços culturais. **Psicologia: Ciência e Profissão**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 584-594, jul./set. 2018. DOI: 10.1590/1982-3703000042018.

ARAUJO, M. D. X.; SANTOS, D. M. dos. Fotografia Tátil: desenvolvimento de modelos táteis a partir de fotografias com a utilização de impressora 3D. **Revista Brasileira de Design da Informação/Brazilian Journal of Information Design**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 62-76, 2015.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BOURDIEU, P. **O poder simbólico**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1989.

BRANDI, C. **Teoria da restauração**. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2004.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm). Acesso em: 10 fev. 2026.

CANAU, J. **Memória e identidade**. Tradução de Maria Letícia Ferreira. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2012.

CAVALCANTE, L. E. **Patrimônio digital e informação: política, cultura e diversidade**. Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 12, n. 23, p. 152-170, Dezembro 2007. ISSN 1518-2924. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2007v12n23p152>.

CAVALCANTI, M. R. B. **Patrimônio virtual**: a reconstrução em 3D e a preservação do patrimônio cultural. 2019. 164 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Preservação do Patrimônio Cultural) – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Rio de Janeiro, 2019.

CHAMPION, E.; RAHAMAN, H. Survey of 3D digital heritage repositories and platforms. **Virtual Archaeology Review**, [s. l.], v. 11, n. 23, p. 1-15, 2020.

CRAWFORD, K. **Atlas of AI**: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence. New Haven, CT: Yale University Press, 2021.

DANTAS, F. S. O patrimônio cultural protegido pelo Estado brasileiro. In: CAMPOS DANIEL RIBEIRO PREVE, I. F. d. S. J. B. (org.). Patrimônio cultural, direito e meio ambiente: um debate sobre a globalização, cidadania e sustentabilidade. Curitiba: Multideia, 2015. v. 1, p. 31 - 53. ISBN 978-85-8443-049-9.

GOUVEIA JUNIOR, M. O novo Museu e a Sociedade da Informação. **Revista Perspectivas em Ciência da Informação**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 81-93, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/pci/article/view/22959>. Acesso em: 12 fev. 2026.

GROETELAARS, N. J. **Criação de Modelos BIM a partir de “nuvem de pontos”**: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

HALL, S. **A identidade cultural na pós-modernidade**. Rio de Janeiro: DP&A, 2011.

LINS, A. C. B.; FARIA, L. C. M. de. Transformação digital e preservação do patrimônio documental: reflexões considerando o acervo acadêmico de ensino em saúde da ENSP/Fiocruz. **Revista Memória em Rede**, Pelotas, v. 16, n. 30, p. 265-286, jan./jun. 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/Memoria>. Acesso em: 12 fev. 2026.

MARINHO, L. C. de M.; ROCHA, J. N. Acessibilidade, pessoas com deficiência, museus e exposições on-line: tendências em uma revisão bibliográfica. **Revista Perspectivas em Ciência da Informação**, UFMG, v. 19, 2024. DOI: 10.1590/1981-5344/51471.

MARTINS, M. C. (org.). **Pensar juntos mediação cultural**: [entre]laçando experiências e conceitos. São Paulo: Terracota, 2014.

MARTINS, M. C. Mediações culturais e contaminações estéticas. **Revista GEARTE**, UFRGS, v. 1, n. 2, p. 248-264, ago. 2014. ISSN 2357-9854. DOI: 10.22456/2357-9854.52575.

MORESCHI, B. Five experimentations in computer vision: seeing (through) images from Large Scale Vision Datasets. **BJHS Themes**, [S. /], n. 8, p. 171-187, 2023. DOI: 10.1017/bjt.2023.6.

RIEGL, A. **O culto moderno dos monumentos**: a sua essência e a sua origem. Tradução de Werner Davidsohn e Anat Falbel. São Paulo: Perspectiva, 2014.

SASSAKI, R. K. **Inclusão**. Construindo uma sociedade para todos. 2. ed. Rio de Janeiro: WVA, 1997.

SILVA, G. L. da; GROETELAARS, N. J. Modelagem geométrica do Museu Anita Garibaldi a partir de produtos fotogramétricos. *In*: PATRIMÔNIO 4.0: conectando dimensões da realidade, 2022. Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: [s. n.], mar. 2022.

## SUMÁRIO

# 16

*Joyce Batista Azevedo  
Iago Rodrigues de Abreu  
Joyce Mara Brandão Maia  
Rodrigo Santiago Coelho*

## **DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA MATERIAIS APLICADOS À MANUFATURA ADITIVA**

## INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA), amplamente conhecida como impressão 3D, consolidou-se como uma das principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, ao permitir a integração entre sistemas digitais, automação avançada e processos produtivos inteligentes. Diferencia-se dos métodos convencionais por oferecer elevada liberdade geométrica, personalização em massa e otimização funcional, atendendo às demandas por flexibilidade, eficiência e inovação, características do ambiente industrial contemporâneo (Zhou *et al.*, 2024; Sala; Richert, 2025). Nesse contexto, os materiais assumem papel central, uma vez que determinam não apenas a viabilidade dos processos de impressão, mas também o desempenho mecânico, térmico, químico e funcional das peças produzidas (Bhatia; Sehgal, 2023).

Atualmente, a MA emprega uma ampla variedade de materiais, incluindo polímeros, metais, cerâmicas, compósitos e biomateriais, cada qual associado a requisitos específicos de forma física, reologia e comportamento térmico. Os polímeros destacam-se pela versatilidade e ampla aplicabilidade, enquanto os metais e ligas metálicas possibilitam a produção de componentes estruturais de alto desempenho para setores como aeroespacial, automotivo e energético (Wu *et al.*, 2020; Bhuvanesh; Sathiya, 2021). As cerâmicas, por sua vez, oferecem elevada dureza, estabilidade térmica e resistência química, ampliando o uso da MA em ambientes severos e aplicações biomédicas (Mahmood, *et al.*, 2022). Apesar dos avanços recentes, o portfólio de materiais ainda é restrito quando comparado aos processos convencionais, devido às limitações impostas pelas tecnologias de impressão e pelos desafios de controle microestrutural e repetibilidade.

Diante desse cenário, o desenvolvimento de novos e a adaptação de materiais existentes representam um dos principais

vetores de avanço da manufatura aditiva. Sendo assim, este capítulo tem como objetivo apresentar os principais materiais utilizados na manufatura aditiva, discutindo suas características, propriedades e aplicações, bem como elencar os principais desafios e oportunidades para pesquisa e desenvolvimento nessa área. Serão abordadas questões relacionadas à inovação em materiais, desempenho e sustentabilidade, destacando o papel estratégico da manufatura aditiva como tecnologia-chave para a consolidação da Indústria 4.0 e para o avanço da manufatura avançada.

## MANUFATURA ADITIVA

O conceito de Indústria 4.0 baseia-se na integração de tecnologias modernas de manufatura e de sistemas de informação, capazes de promover capacidades produtivas que elevem a competitividade a longo prazo. Essa integração permite otimizar o uso de mão de obra, energia e materiais, viabilizando a entrega de produtos e serviços de alta qualidade e proporcionando respostas ágeis às variações nas demandas do mercado. Dentre estas tecnologias, a manufatura aditiva (MA), amplamente reconhecida como impressão 3D, consolidou-se como uma das principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 (ASM International, 2020; Prashar *et al.*, 2023).

A utilização das técnicas de manufatura aditiva revolucionou o desenvolvimento de produtos e à medida que essas tecnologias foram ganhando mercado e desenvolvendo sua maturidade. Com novos processos, novos materiais aplicáveis e melhoria de desempenho de produção e qualidade das peças impressas, teve sua gama de aplicações aberta para os mais variados setores da indústria (ASM International, 2020).

## SUMÁRIO

O mercado global de manufatura aditiva foi estimado em cerca de US\$ 36,1 bilhões em 2025, com aplicações diversificadas em segmentos como automotivo, aeroespacial, saúde (biomédico e dispositivos médicos) e bens de consumo, representando uma parcela significativa da adoção industrial global. Essa disseminação reflete o uso da manufatura aditiva para peças funcionais, componentes leves e personalizados, aplicações em produção sob demanda e soluções de design complexo, reforçando seu papel como tecnologia habilitadora em cadeias produtivas modernas. Além disso, setores tradicionais, como engenharia mecânica, ferramentas e eletrônica, também ampliam suas aplicações (Global Growth Insights, 2025; AMFG, 2025; Cllaim Project Am, 2025).

Os processos de manufatura aditiva consistem em unir materiais para fazer peças a partir de dados de modelos tridimensionais (3D), por meio da deposição sucessiva de camadas. Esses processos diferenciam-se da fabricação subtrativa, na qual o material é removido de um bloco inicial e da fabricação formativa, que utiliza moldes ou deformação plástica. De acordo com a norma ISO/ASTM 52900, os processos de manufatura são classificados em sete categorias principais: extrusão de material (Material Extrusion – ME), jateamento de material (Material Jetting – MJ), jateamento de aglutinante (Binder Jetting – BJ), laminação de folhas (Sheet Lamination – SL), fotopolimerização em cuba (Vat Photopolymerization – VP), fusão em leito de pó (Powder Bed Fusion – PBF) e deposição de energia direcionada (Directed Energy Deposition – DED) (Wu *et al.*, 2020).

Nesses processos, independentemente do tipo, os materiais constituem o elemento central para a efetividade da MA, pois determinam tanto o método de impressão adequado quanto o desempenho final das peças produzidas (Bhatia; Sehgal, 2023; Sala; Richert, 2025). Além disso, o avanço desses materiais está diretamente relacionado à evolução dos próprios processos de impressão,

uma vez que cada categoria de material demanda parâmetros específicos de deposição, fusão ou solidificação. Assim, o desenvolvimento de novos materiais não apenas expande a capacidade da manufatura aditiva, mas também consolida seu papel como tecnologia habilitadora em áreas que vão da engenharia mecânica à saúde e aos bens de consumo.

## MATERIAIS PARA MANUFATURA ADITIVA

Para garantir a produção consistente de artefatos de elevada qualidade, a MA requer materiais com propriedades adequadas e desempenho compatível com os requisitos rigorosos impostos pelos processos industriais, de modo análogo ao que ocorre em técnicas convencionais de fabricação. A seleção do material a ser empregado nessas tecnologias constitui um fator decisivo, pois influencia diretamente tanto a viabilidade de processamento quanto as propriedades finais do componente produzido (Kawalkar, *et al.*, 2022; Elkanayati *et al.*, 2023; Yeshiwas *et al.*, 2025).

Uma ampla gama de materiais em diferentes categorias passou a ser compatível com esses processos, e novos materiais e aplicações estão sendo desenvolvidos à medida que a MA amadurece. Atualmente, a MA possibilita a produção de componentes funcionais a partir de polímeros, sejam eles termoplásticos, termorrígidos ou elastoméricos, metais processáveis por soldagem ou fusão, cerâmicas de diferentes naturezas, como refratários e materiais vítreos, além de compósitos e diversos tipos de biomateriais. Paralelamente, novas vertentes tecnológicas vêm sendo desenvolvidas, como aquelas voltadas à impressão de alimentos ou de materiais à base de cimento (Kharat *et al.*, 2023; Kanishka; Acherjee, 2023; Zhou *et al.*, 2024; Yeshiwas *et al.*, 2025).

## POLÍMEROS

Os polímeros constituem a base material mais amplamente utilizada na MA, em razão de sua versatilidade estrutural, ampla disponibilidade e compatibilidade com diferentes rotas de processamento. O portfólio de materiais poliméricos para MA é extenso e abrange desde termoplásticos convencionais, como Ácido Polilático (PLA), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno de Alto Impacto (HIPS) e Polietileno Tereftalato Glicol (PETG), conhecidos por sua boa processabilidade e baixo custo, até polímeros de engenharia, como Policarbonato (PC), diferentes grades de Poliamidas (PA6, PA11, PA12), Poliéter-éter-cetona (PEEK), Poliéter-ceton-cetona (PEKK) e Polieterimida (PEI), selecionados por sua elevada resistência mecânica, térmica e química. Também se destacam os elastômeros termoplásticos, entre eles Termoplástico Poliuretano (TPU) e Termoplástico Elastômero (TPE), empregados na produção de componentes flexíveis, dispositivos biomédicos e peças que exigem alta resistência ao desgaste (Wu *et al.*, 2020). Quanto a termorrígidos, os mais utilizados na MA são os materiais fotopolímeros compostos de monômeros, oligômeros, fotoiniciadores e uma variedade de outros aditivos, incluindo inibidores, corantes, agentes antiespumantes, antioxidantes, agentes de endurecimento, etc., que ajudam a ajustar os comportamentos e propriedades do fotopolímero (Bhuvanesh; Sathiya, 2021; Srivastava, *et al.*, 2022).

## METAIS E LIGAS METÁLICAS

Devido à sua resistência superior, estabilidade térmica e ampla variedade de aplicações, a impressão de produtos metálicos tornou-se uma das principais preocupações dos fabricantes de máquinas de MA. O processo de impressão 3D em metal tem despertado grande interesse nos setores automotivo, aeronáutico, de manufatura e médico, graças às suas inúmeras vantagens, como a excepcional

resistência mecânica, ideal para componentes robustos e capazes de suportar altas cargas, e a excelente condutividade térmica e resistência ao calor, que possibilitam seu uso em ambientes de alta temperatura. Apesar disso, o peso elevado pode limitar a aplicação de metais em projetos em que a leveza é essencial (Bhuvanesh, Sathiya, 2021; Alami *et al.*, 2023).

As ligas metálicas utilizadas na MA distinguem-se por propriedades específicas que determinam sua aplicação em setores de alto desempenho, especialmente na indústria aeroespacial (Hakami *et al.*, 2025). As ligas de titânio são valorizadas pela alta relação resistência/peso, resistência à corrosão, tenacidade e capacidade de manter desempenho em temperaturas elevadas. Essas características tornam o titânio adequado para componentes estruturais, pás de compressores, partes de motores e aplicações críticas onde a confiabilidade é essencial (Liu *et al.*, 2021). Já as superligas à base de níquel destacam-se por sua estabilidade em ambientes extremos, resistência à fluência e capacidade de suportar altas temperaturas, sendo amplamente utilizadas em câmaras de combustão, eixos e pás de turbinas. Sua resistência à oxidação e aos gases agressivos garante durabilidade mesmo na zona quente dos motores aeronáuticos.

As ligas de alumínio combinam baixo peso com elevada resistência mecânica, boa conformabilidade e resistência à fadiga, sendo essenciais para estruturas de aeronaves, asas, fuselagem e componentes sujeitos a ciclos repetidos de carga. Essas ligas também apresentam excelente resistência à corrosão, contribuindo para maior durabilidade dos componentes (Zhou, *et al.*, 2020). Por fim, ligas de aço especiais proporcionam elevada dureza, resistência ao desgaste e estabilidade dimensional, sendo adequadas para aplicações estruturais, moldes, ferramentas e peças de alta resistência. Todas essas ligas possuem propriedades que se alinham aos requisitos rigorosos de desempenho da manufatura aditiva, permitindo a fabricação de geometrias complexas com redução de peso, otimização estrutural e desempenho aprimorado (Hakami *et al.*, 2025).

## CERÂMICAS

A utilização dos processos de MA com cerâmicas busca fabricar peças complexas de alto desempenho, que em muitos casos são impossíveis de se produzir por métodos de manufatura convencionais. Normalmente, a cerâmica é utilizada em processos de manufatura aditiva baseados em pó. As fibras cerâmicas são compostas principalmente de sílica e vidro, porcelana e carbetos de silício, e podem ser acopladas a substratos poliméricos ou metálicos para aumentar sua resistência. Alta resistência mecânica e dureza, boa estabilidade térmica e química, além de desempenho térmico, óptico, elétrico e magnético viável, são algumas das propriedades que tornam esses materiais tão versáteis para impressão 3D. Os componentes cerâmicos são geralmente moldados nos formatos desejados a partir de uma mistura de pós com ou sem aglutinantes e outros aditivos (Mahmood *et al.*, 2022).

As cerâmicas mais usadas em manufatura aditiva incluem alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), zircônia ( $\text{ZrO}_2$ ), carbetos de silício ( $\text{SiC}$ ) e nitreto de silício ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), além de biocerâmicas como hidroxiapatita (HA) e fosfato tricálcico (TCP) e vidros/sílica para aplicações ópticas (Dadkhah *et al.*, 2023; Spina; Morfini, 2024). Essas cerâmicas oferecem, respectivamente, alta dureza e estabilidade química ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), elevada tenacidade e resistência à fratura térmica ( $\text{ZrO}_2$  e compósitos ZTA/ATZ), excelente condutividade térmica e resistência ao desgaste/abrasão ( $\text{SiC}$ ), e combinação de resistência mecânica com resistência à fadiga em ambientes de alta temperatura ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (Dadkhah *et al.*, 2023; Diao *et al.*, 2024; Spina; Morfini, 2024).

## DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Nos últimos anos, observa-se um avanço significativo no desenvolvimento de materiais aplicados à MA; entretanto, o portfólio

## SUMÁRIO

de materiais disponíveis ainda permanece limitado em função dos rigorosos requisitos impostos pelas diferentes tecnologias de processamento. Essa restrição faz com que materiais tradicionais apresentem limitações em aplicações que demandam propriedades específicas, tornando essencial o desenvolvimento de materiais funcionais de alto desempenho capazes de ampliar o potencial da MA (Wu *et al.*, 2020; Kharat *et al.*, 2023). Nesse contexto, a inovação em materiais surge como uma oportunidade estratégica, envolvendo o desenvolvimento de novos metais, biomateriais, compósitos, materiais inteligentes e sistemas multimateriais ou funcionalmente graduados, que permitam melhor imprimibilidade, desempenho mecânico superior, biocompatibilidade e personalização de propriedades em geometrias complexas (Ben *et al.*, 2025).

Na área biomédica, apesar do grande potencial da MA, os materiais de implantes disponíveis comercialmente ainda apresentam desafios relevantes, como blindagem de tensão e liberação de íons metálicos nocivos. Dessa forma, pesquisas têm se concentrado no desenvolvimento de novos biomateriais com propriedades mecânicas e biocompatibilidade aprimoradas, bem como em estratégias como estruturas porosas ordenadas e materiais funcionalmente graduados, as quais podem ser eficientemente produzidas por MA (Vicente *et al.*, 2023; Jyoti, 2024). No entanto, a implementação em larga escala ainda é limitada pelo número restrito de materiais aprovados para uso biomédico e pelos longos e complexos processos regulatórios exigidos por agências reguladoras (Rehman *et al.*, 2023).

Paralelamente, os polímeros de alto desempenho (HPPs) e de ultra-alto desempenho (UPPs), como PEEK, PEKK e PEI, destacam-se por manter propriedades mecânicas, térmicas e químicas sob condições extremas, sendo promissores para aplicações aeroespaciais, automotivas, médicas e de defesa. Contudo, sua aplicação em MA, especialmente por extrusão de material, ainda enfrenta desafios relacionados às altas temperaturas de processamento, elevada viscosidade e defeitos como empenamento e delaminação. Esses

obstáculos abrem oportunidades claras para avanços em controle térmico, desenvolvimento de câmaras aquecidas mais eficientes e integração de estratégias de otimização assistidas por inteligência artificial, com potencial para elevar significativamente a qualidade das peças impressas (Vidakis *et al.*, 2026).

De forma semelhante, a impressão 3D de vidros apresenta desafios intrínsecos associados à fragilidade, altos pontos de fusão e à formação de defeitos estruturais, que impactam diretamente a transparência e a resistência mecânica das peças. Apesar disso, avanços recentes em pastas fotossensíveis, nanopartículas de SiO<sub>2</sub>, sinterização otimizada e tintas coloidais têm possibilitado a fabricação de componentes vítreos com geometrias complexas e funcionalidades ópticas avançadas, abrindo novas oportunidades em microfluídica, óptica personalizada e dispositivos transparentes de alto valor agregado (Zhang; Liu; Qiu, 2021).

Outro campo de destaque é o uso de nanocompósitos na MA, considerado altamente promissor para a obtenção de materiais com propriedades mecânicas, térmicas, elétricas e funcionais superiores. A incorporação de nanocargas pode reduzir a formação de vazios e trincas, melhorar a resistência mecânica, diminuir atrito e desgaste e introduzir funcionalidades adicionais, como condutividade elétrica, resposta a estímulos externos e propriedades antibacterianas (Clarissa *et al.*, 2022; Siddiqui *et al.*, 2023; Aboelenan *et al.*, 2023). Estudos também demonstram a viabilidade de controlar porosidade e desempenho estrutural em polímeros de alto desempenho por meio de nanocompósitos, ampliando sua aplicabilidade em setores críticos, inclusive biomédicos (Xu *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2024).

Por fim, a sustentabilidade emerge como um dos principais desafios e oportunidades para o futuro da MA. Apesar de seu potencial revolucionário, a MA ainda enfrenta questões relacionadas ao consumo energético, geração de resíduos e gestão de materiais, como pós não utilizados, estruturas de suporte e falhas de impressão.

Investimentos em estratégias de redução, reutilização e reciclagem de materiais, bem como no uso de matérias-primas recicláveis e biodegradáveis, são fundamentais para consolidar a MA como uma tecnologia alinhada aos princípios da manufatura verde (Mohammed *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2022; Belo; Maladzhi, 2025; Saharudin; Ullah; Younas, 2025). Assim, a superação desses desafios por meio de inovação, colaboração interdisciplinar e padronização regulatória será determinante para a consolidação da MA como um pilar da indústria sustentável do futuro.

## REFERÊNCIAS

ABOELANAN, A. F.; ALGOUZ, M.; SALEH, N.; SOROUR, M. 3D-printing of polylactic acid/nano silica filament: properties and applications. **Food Technology Research Journal**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 32-41, 2023.

ALAMI, A. H. *et al.* Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: recent trends and role in achieving sustainable development goals. *Ain Shams Engineering Journal*, [s. l.], v. 14, n. 11, p. 102516, 2023.

AMFG. **Additive manufacturing forecast 2025**: technology and applications. 2025. Disponível em: <https://amfg.ai/2025/02/05/additive-manufacturing-forecast-2025-technology-and-applications/>. Acesso em: 12 dez. 2025.

ASM INTERNATIONAL. **ASM handbook**: v. 24: Additive manufacturing. [S. l.]: ASM International, 2020.

BELLO, K. A.; MALADZHI, R. W. Innovative and best practices in sustainable strategies for waste reduction in additive manufacturing. **Hybrid Advances**, [s. l.], p. 100527, 2025.

BEN SAID, L.; AYADI, B.; ALHARBI, S.; DAMMAK, F. Recent Advances in Additive Manufacturing: A Review of Current Developments and Future Directions. **Machines**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 813, 2025. DOI: 10.3390/machines13090813.

BHATIA, A.; SEHGAL, A. K. Additive manufacturing materials, methods and applications: a review. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 81, p. 1060-1067, 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.04.379.

BHUVANESH KUMAR, M.; SATHIYA, P. Methods and materials for additive manufacturing: a critical review on advancements and challenges. **Thin-Walled Structures**, [s. l.], v. 159, 2021.

CLARISSA, W. H. Y.; CHIA, C. H.; ZAKARIA, S.; EVYAN, Y. C. Y. Recent advancement in 3-D printing: nanocomposites with added functionality. **Progress in Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 325-350, 2022.

CLLAIM PROJECT AM. **Global additive manufacturing market: forecast to 2025**. 2025. Disponível em: [https://cllaimprojectam.eu/documents/CLLAIM\\_D1.1\\_Report%20on%20AM.pdf](https://cllaimprojectam.eu/documents/CLLAIM_D1.1_Report%20on%20AM.pdf). Acesso em: 12 dez. 2025.

DADKHAH, M. *et al.* Additive manufacturing of ceramics: advances, challenges, and outlook. **Journal of the European Ceramic Society**, [s. l.], v. 43, n. 15, p. 6635-6664, 2023.

DIAO, Q.; ZENG, Y.; CHEN, J. The applications and latest progress of ceramic 3D printing. **Additive Manufacturing Frontiers**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 200113, 2024.

ELKANAYATI, R.; SRINIVASAN, P.; REPKA, M. A.; ASHOUR, E. Recent advances in the applications of additive manufacturing (3D printing) in drug delivery: a comprehensive review. **AAPS PharmSciTech**, [s. l.], 2023. DOI: 10.1208/s12249-023-02524-9.

GLOBAL GROWTH INSIGHTS. **Additive manufacturing market size, growth and forecast to 2035**. 2025. Disponível em: <https://www.globalgrowthinsights.com/pt/market-reports/additive-manufacturing-market-100765>. Acesso em: 12 dez. 2025.

HAKAMI, A. *et al.* Advancements in metal additive manufacturing: opportunities, limitations, impact on properties, and potential solutions: a review. **Progress in Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 4447-4495, 2025.

ISO; ASTM. **ISO/ASTM 52900:2021**. Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary. Geneva: International Organization for Standardization; West Conshohocken: ASTM International, 2021.

JYOTI, G.; GHOSH, R. Functionally graded materials reduce the stress shielding in the tibia bone for total ankle replacement. **International Journal of Advanced Engineering Sciences and Applied Mathematics**, [s. l.], v. 16, p. 244-248, 2024. DOI: 10.1007/s12572-023-00366-z.

## SUMÁRIO

KANISHKA, K.; ACHERJEE, B. Revolutionizing manufacturing: a comprehensive overview of additive manufacturing processes, materials, developments, and challenges. **Journal of Manufacturing Processes**, [s. l.], v. 107, p. 574-619, 2023.

KAWALKAR, R.; KUMAR, H.; LOKHANDE, S. P. Wire arc additive manufacturing: a brief review on advancements in addressing industrial challenges incurred with processing metallic alloys. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 50, p. 1971-1978, 2022.

KHARAT, V. J. *et al.* Additive manufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

KIM, H. C.; TU, R.; SODANO, H. A. Room temperature 3D printing of high-temperature engineering polymer and its nanocomposites with porosity control for multifunctional structures. **Composites Part B: Engineering**, [s. l.], v. 279, p. 111444, 2024.

LIU, Z.; HE, B.; LYU, T.; ZOU, Y. A review on additive manufacturing of titanium alloys for aerospace applications: directed energy deposition and beyond Ti-6Al-4V. **JOM**, [s. l.], v. 73, p. 1804-1818, 2021.

MAHMOOD, A. *et al.* On the evolution of additive manufacturing (3D/4D printing) technologies: materials, applications, and challenges. **Polymers**, [s. l.], v. 14, n. 21, p. 4698, 2022.

MOHAMMED, M.; WILSON, D.; GOMEZ-KERVIN, E.; PETSUUK, A.; DICK, R.; PEARCE, J. M. Sustainability and feasibility assessment of distributed e-waste recycling using additive manufacturing in a bi-continental context. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 50, art. 102548, 2022.

PRASHAR, G.; VASUDEV, H.; BHUDDHI, D. Additive manufacturing: expanding 3D printing horizon in industry 4.0. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 2221-2235, 2023. DOI: 10.1007/s12008-022-00956-4.

REHMAN, M.; YANEN, W.; MUSHTAQ, R. T. *et al.* Additive manufacturing for biomedical applications: a review on classification, energy consumption, and its appreciable role since COVID-19 pandemic. **Progress in Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 8, p. 1007-1041, 2023. DOI: 10.1007/s40964-022-00373-9.

SAHARUDIN, M. S.; ULLAH, A.; YOUNAS, M. Innovative and sustainable advances in polymer composites for additive manufacturing: processing, microstructure, and mechanical properties. **MDPI**, [s. l.], v. 9, p. 51, 2025.

## SUMÁRIO

SALA, D.; RICHERT, M. Perspectives of additive manufacturing in 5.0 industry. **Materials**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 429, 2025. DOI: 10.3390/ma18020429.

SIDDIQUI, S.; SURANANAI, S.; SAINATH, K.; KHAN, M. Z.; KUPPUSAMY, R. R. P.; SUNEETHA, Y. K. Emerging trends in the development and application of 3D printed nanocomposite polymers for sustainable environmental solutions. **European Polymer Journal**, [s. l.], p. 112298, 2023.

SPINA, R.; MORFINI, L. Material extrusion additive manufacturing of ceramics: a review on filament-based process. **Materials**, [s. l.], v. 17, n. 11, p. 2779, 2024.

SRIVASTAVA, M. *et al.* A review of various materials for additive manufacturing: recent trends and processing issues. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], v. 21, p. 2612-2641, 2022.

TAN, L. J.; ZHU, W.; ZHOU, K. Recent progress on polymer materials for additive manufacturing. **Advanced Functional Materials**, [s. l.], v. 30, n. 43, p. 2003062, 2020.

VICENTE, C. M. S.; SARDINHA, M.; REIS, L. *et al.* Large-format additive manufacturing of polymer extrusion-based deposition systems: review and applications. **Progress in Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 8, p. 1257-1280, 2023. DOI: 10.1007/s40964-023-00397-9.

VIDAKIS, N. *et al.* Ultra- and high-performance polymers for material extrusion additive manufacturing: recent advancements, challenges, and optimization perspectives. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, [s. l.], v. 167, p. 101086, 2026.

WU, H.; FAHY, W. P.; KIM, S.; KIM, H.; ZHAO, N.; PILATO, L. *et al.* Recent developments in polymers/polymer nanocomposites for additive manufacturing. **Progress in Materials Science**, [s. l.], v. 111, p. 100638, 2020.

WU, H.; MEHRABI, H.; KARAGIANNIDIS, P.; NAVEED, N. Additive manufacturing of recycled plastics: strategies towards a more sustainable future. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 335, art. 130236, 2022.

XU, W.; JAMBHULKAR, S.; ZHU, Y.; RAVICHANDRAN, D.; KAKARLA, M.; VERNON, B.; *et al.* 3D printing for polymer/particle-based processing: a review. **Composites Part B: Engineering**, [s. l.], v. 223, p. 109102, 2021.

YESHIWAS, T. A.; TIRUNEH, A. B.; SISAY, M. A. A review article on the assessment of additive manufacturing. **Journal of Materials Science: Materials in Engineering**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 85, 2025.

ZHANG, D.; LIU, X.; QIU, J. 3D printing of glass by additive manufacturing techniques: a review. **Frontiers of Optoelectronics**, [s. l.], v. 14, p. 263-277, 2021. DOI: 10.1007/s12200-020-1009-z.

ZHOU, L.; MILLER, J.; VEZZA, J.; MAYSTER, M.; RAFFAY, M.; JUSTICE, Q. *et al.* Additive manufacturing: a comprehensive review. **Sensors**, [s. l.], v. 24, n. 9, p. 2668, 2024. DOI: 10.3390/s24092668.

ZHOU, Y.; LIN, X.; KANG, N.; HUANG, W.; WANG, J.; WANG, Z. Influence of travel speed on microstructure and mechanical properties of wire + arc additively manufactured 2219 aluminum alloy. **Journal of Materials Science & Technology**, [s. l.], v. 37, p. 143-153, 2020.

## SUMÁRIO

# SOBRE OS ORGANIZADORES E AS ORGANIZADORAS

## Ingrid Winkler

É Professora Associada no Departamento de Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial da Universidade SENAI CIMATEC, onde já coordenou mais de 40 projetos de PDI em colaboração com parceiros industriais, como EMBRAER, FORD, Great Wall Motors, NVIDIA, Petrobras, SHELL, HP, Fiocruz e Continental Mabor Portugal. É coordenadora da rede Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia para a Indústria 4.0 (INCITE Indústria 4.0), onde pesquisa o potencial das tecnologias imersivas para impulsionar uma Indústria 5.0 mais sustentável e centrada no ser humano. É bolsista de Produtividade em Pesquisa nível DT-1D do CNPq e atua como Vice-Coordenadora da Comissão Especial de Realidade Virtual da Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Foi Pesquisadora Visitante na Nanyang Technological University (Singapura) e atualmente está vinculada à Universidade Lusíada (Portugal) e ao Centro de Excelência EMBRAPPII em Tecnologias Imersivas (AKCIT/UFV).

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

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

*E-mail:* [ingrid.winkler@doc.senaicimatec.edu.br](mailto:ingrid.winkler@doc.senaicimatec.edu.br)

## Joyce Batista Azevedo

Professora da Universidade Federal da Bahia (UFBA), com doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais. Atua em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação voltados para soluções envolvendo o desenvolvimento de materiais sustentáveis com experiência nas áreas de materiais poliméricos, compósitos, reciclagem de polímeros e manufatura aditiva.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/1078191261050953>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-5757-0811>

*E-mail:* [joyce.azevedo@ufba.br](mailto:joyce.azevedo@ufba.br)

## Paulo Eduardo Ambrósio

Professor da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Doutor em Medicina e Mestre em Física Aplicada. Pesquisador líder do Laboratório de Modelagem e Tecnologias Imersivas (MTILab/UESC). Atua nas áreas de Reconhecimento de Padrões, Computação Aplicada à Saúde e Tecnologias Imersivas.

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

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

*E-mail:* [peambrosio@uesc.br](mailto:peambrosio@uesc.br)

## SUMÁRIO

**José Alberto Diaz Amado**

Possui graduação em Engenharia Eletrônica pela Universidade Católica Santa Maria (2003), revalidada como Engenharia Elétrica 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).

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

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

*E-mail:* [jose\\_diaz@ifba.edu.br](mailto:jose_diaz@ifba.edu.br)

**Márcio Fontana Catapan**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Positivo. É professor associado da UFPR, pesquisador do CNPq (DT) e atua nas áreas de Tecnologias 3D, Realidade Estendida e Metaverso. É professor permanente dos Programas de Pós-Graduação em Design (PPGDesign) e Engenharia Mecânica (PPGEM) da UFPR, além de coordenador do PPGEM. Possui ampla experiência acadêmica e industrial na coordenação de projetos de inovação, com atuação destacada em sistemas de manufatura inteligente e Indústria 4.0.

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

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0003-1039-393>

*E-mail:* [marciocatapan@ufpr.br](mailto:marciocatapan@ufpr.br)

**Fabiane de Jesus Paz**

Pesquisadora no SENAI CIMATEC, mestranda no Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial (PPGTEC) e graduanda em Psicologia. Atua em projetos de pesquisa e desenvolvimento, com interesse na interface entre Psicologia e tecnologias imersivas. Desenvolve estudos relacionados à saúde mental, riscos psicossociais, Inteligência Artificial e Realidade Virtual, incluindo investigações sobre o senso de presença em ambientes imersivos, com aplicações em contextos industriais e na análise da experiência do usuário.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/8659537622597251>

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0009-7962-1582>

*E-mail:* [fabiane.paz@aln.senaicimatec.edu.br](mailto:fabiane.paz@aln.senaicimatec.edu.br)

# SOBRE AS AUTORAS E OS AUTORES

## Allan França Dutra

Graduando em Sistemas de Informação pelo IFBA (2025).

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/9550539203925047>

*E-mail:* [allanfd12@gmail.com](mailto:allanfd12@gmail.com)

## Alex Vinicius Souza Araújo

Mestre em Ciência dos Materiais e Doutorando em Modelagem Computacional. Pesquisador do Laboratório de Modelagem e Tecnologias Imersivas (MTILab/UDESC). Atua nas áreas de otimização, processo produtivo, modelagem e lean manufacturing.

*Lattes:* <https://lattes.cnpq.br/8439049026384743>

*ORCID:* <https://www.orcid.org/0009000769977433>

*E-mail:* [avsaraujo.ppgmc@uesc.br](mailto:avsaraujo.ppgmc@uesc.br)

## Amanda Morais Almeida

Mestranda em Modelagem Computacional. Pesquisadora do Laboratório de Modelagem e Tecnologias Imersivas (MTILab/UDESC). Atua nas áreas de Planejamento e Controle da Produção (PCP), supervisão de equipes operacionais, gestão de indicadores de desempenho e melhoria contínua de processos produtivos.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/6726291422540622>

*ORCID:* <https://www.orcid.org/0000000231145611>

*E-mail:* [amalmeida.ppgmc@uesc.br](mailto:amalmeida.ppgmc@uesc.br)

## Amanda Oliveira Alves

Mestre e Doutoranda em Modelagem Computacional. Pesquisadora do Laboratório de Modelagem e Tecnologias Imersivas (MTILab/UDESC). Atua nas áreas de Gestão de Projetos, Qualidade, Layout e Tecnologias Imersivas.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/9753091348163937>

*ORCID:* <https://www.orcid.org/0009000781850910>

*E-mail:* [aolves.ppgmc@uesc.br](mailto:aolves.ppgmc@uesc.br)

**Andressa Clara Barbosa de Araujo**

Doutoranda e Mestra em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia, com atuação em pesquisa aplicada à Indústria 4.0, especialmente em Digital Twin para sistemas de manufatura, com foco em otimização, melhoria contínua e digitalização de processos. Bacharel em Engenharia de Produção e em Energia e Sustentabilidade pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, possui experiência em projetos de inovação, incluindo iniciativas em Lean Healthcare e desenvolvimento de materiais sustentáveis.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/9324913111816081>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-1734-506X>

*E-mail:* [andressa.barbosa@fieb.org.br](mailto:andressa.barbosa@fieb.org.br)

**Augusto Vitor Bomfim Silva Lima**

Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia Mecânica. Atualmente é capitão da Equipe CalangoTec Baja do Senai Cimatec.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/6732573497113378>

**Caio Alves da Cruz Andrade**

Técnico em Eletromecânica e graduando em Bacharelado em Engenharia Elétrica pelo IFBA.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/3915148813721959>

*E-mail:* [caio.andrade@live.com](mailto:caio.andrade@live.com)

**Camille Pereira Guimarães**

Bacharela em Energia e Sustentabilidade pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e graduanda em Engenharia de Produção, atua nas áreas de Gêmeos Digitais, Lean Healthcare, inovação e realidade virtual aplicada a treinamentos. Possui experiência em pesquisa (PIBITI e PIBIC) com foco em jogos em realidade virtual e inteligência artificial aplicada à saúde, além de vivência empreendedora e atuação em consultoria Lean. Integra o grupo de pesquisa OPTI 4.0, com competências em gestão por processos, criatividade e inovação.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/3813049331174070>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-6963-2597>

**Carina Santos Silveira**

Pós-doutoranda em Desenho, Cultura e Interatividade e doutora em Artes Visuais pela Universidade Federal da Bahia, com pesquisa voltada ao design e emoção. Mestre em Engenharia Mecatrônica e especialista em Design de Produto pela Universidade do Estado da Bahia, possui formação em Desenho Industrial. Docente da UFBA e integrante permanente dos programas de pós-graduação em Artes Visuais (PPGAV) e Design (PPGDesign), é líder do grupo

de pesquisa Design, Ergonomia e Emoção, com ampla experiência em ensino superior, avaliação acadêmica e atuação em projetos e instituições de design no Brasil.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/7731933191944131>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-5266-1204>

*E-mail:* [csslveira@ufba.br](mailto:csslveira@ufba.br)

### **Cléia Santos Libarino**

Possui graduação em Engenharia de Computação pela Faculdade Independente do Nordeste (FAINOR, 2007) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA, 2012).

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

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

*E-mail:* [cleialibarino@ifba.edu.br](mailto:cleialibarino@ifba.edu.br)

### **Crescencio Lima**

É professor e pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFBA) campus Vitória da Conquista, coordenador do Grupo de Pesquisa Sistemas de Hardware e Software (SHS), membro do Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica (GIPAR) e professor colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Produtos (PPGESP). Possui graduação 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 (UFBA).

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

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

*E-mail:* [crescencio@gmail.com](mailto:crescencio@gmail.com)

### **Cristiane Agra Pimentel**

Possui graduação em Engenharia de Materiais (2000) pela Universidade Federal da Paraíba, Mestrado (2016) e Doutorado (2018) em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande. Especialista em Gestão Empreendedora e Inovação (2015) pela Universidade Federal de Campina Grande e Administração (2005) pela Universidade Salvador.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/2241223148404540>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-9939-0309>

*E-mail:* [cristianepimentel@ufrb.edu.br](mailto:cristianepimentel@ufrb.edu.br)

**Cristiano Vasconcellos Ferreira**

Professor Associado IV da Universidade Federal de Santa Catarina e bolsista de produtividade em desenvolvimento tecnológico (Nível 1C), atua também como docente nos programas de pós-graduação da UFSC Joinville e da SENAI CIMATEC. Doutor e mestre em Engenharia Mecânica pela UFSC, com pós-doutorado pela Universidade de São Paulo, desenvolve pesquisas nas áreas de gestão da inovação, desenvolvimento de tecnologias e produtos, modelos de negócio e tomada de decisão, com forte atuação em projetos industriais e no setor de saúde.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/2854174439495045>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-9928-5525>

**Daniel Marques Santana Oliveira**

Estudante do 6 semestre de engenharia de produção, formado no bacharelado em engenharia de produção na UFRB, com experiência na área de simulação com flexsim, ex membro do projeto Lean Healthcare e atualmente estagiário do CEPEDI, no time de simulação do projeto Gêmeo Digital. Experiência na área de engenharia de produção em hospital, aplicando a metodologia Lean Healthcare no hospital da mulher, em Feira de Santana-BA.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/3396299778976487>

**Ester Carvalho Soares Machado**

Estudante de graduação em Engenharia da Computação pela Universidade SENAI Cimatec e bolsista CNP-q do laboratório INCITE de XVR localizado na Universidade SENAI Cimatec.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/0130680949109998>

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0004-7337-4131>

*E-mail:* [ester.machado@aln.senaicimatec.edu.br](mailto:ester.machado@aln.senaicimatec.edu.br)

**Fábia Cunha Ferreira Santos**

Doutora em Gestão e Tecnologia Industrial pelo SENAI CIMATEC, mestre em Administração Pública pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e graduada em Psicologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Possui especialização em Gestão Estratégica de Pessoas e MBA Executivo em Gestão de Negócios. Atua na área de Gestão de Pessoas, com experiência em organizações de médio e grande porte, incluindo empresas como Vale e Laboratório Hermes Pardini, além de atuação no setor público como servidora da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), onde exerce atividades relacionadas à gestão de pessoas e comunicação. Apresenta experiência em docência no ensino superior e em projetos voltados à gestão do conhecimento, desenvolvimento de lideranças, engajamento organizacional e saúde do trabalhador.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/4048833155414372>

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0005-4251-838X>

*E-mail:* [fabia.cunha@fiocruz.br](mailto:fabia.cunha@fiocruz.br)

**Felipe Leão da Silva Dias**

Engenheiro de Computação formado pela Universidade SENAI CIMATEC (2024). Atuou como bolsista da FABESB na Universidade Estadual De Santa Cruz (UESC) e como pesquisador de Iniciação Científica, ambas as experiências no laboratório INCITE 4.0.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/8575048342453219>

*E-mail:* [felipeleoadias12345@gmail.com](mailto:felipeleoadias12345@gmail.com)

**France Ferreira de Souza Arnaut**

Professor de Design do Instituto Federal da Bahia e doutorando em Artes Visuais (Design) pela Universidade Federal da Bahia, é mestre em Gestão e Tecnologias Aplicadas à Educação pela Universidade do Estado da Bahia. Atua nas áreas de design e tecnologias digitais, com experiência em RA/RV, modelagem 3D, jogos digitais e educação a distância. Integra o grupo RGEAR/IFBA e desenvolve pesquisas sobre acessibilidade em museus por meio de tecnologias digitais, com foco na percepção tátil e no desenvolvimento de soluções inovadoras.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/2772803100142823>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-2804-8626>

*E-mail:* [franarnaut@gmail.com](mailto:franarnaut@gmail.com)

**Gabriel Marques de Andrade**

Graduando em Engenharia Mecânica. Pesquisador do Laboratório de Modelagem e Tecnologias Imersivas (MTILab/UESC). Atua nas áreas de desenvolvimento de ambientes para realidade virtual e manufatura aditiva.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/3191664871047100>

*E-mail:* [gmandrade.egm@uesc.br](mailto:gmandrade.egm@uesc.br)

**Geovana Pires Araujo Lima**

Professora da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Doutora em Gestão e Tecnologia Industrial e Mestre em Modelagem Computacional. Pesquisadora líder do Laboratório de Modelagem e Tecnologias Imersivas (MTILab/UESC). Atua nas áreas de Gestão, Sustentabilidade, Desenvolvimento Tecnológico e Tecnologias Imersivas.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/5169320824794921>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0003-3062-4837>

*E-mail:* [gpalima@uesc.br](mailto:gpalima@uesc.br)

## SUMÁRIO

**Herman Augusto Lepikson**

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal da Bahia, com doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina, é professor associado aposentado da UFBA e docente permanente na pós-graduação em Mecatrônica e Engenharia Industrial. Atualmente, atua como pesquisador líder no SENAI CIMATEC, com foco em manufatura digital inteligente, sistemas ciberfísicos, gêmeos digitais e inteligência de processos aplicada à indústria e à saúde.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/1115148358376830>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-1941-8883>

*E-mail:* [herman.lepikson@fieb.org.br](mailto:herman.lepikson@fieb.org.br)

**Iago Rodrigues de Abreu**

Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, atua em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação em manufatura aditiva no SENAI CIMATEC. Possui experiência em laboratório internacional, com atuação em projetos voltados à impressão 3D e ao uso de polímeros biodegradáveis.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/1345377162879438>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-8257-1760>

*E-mail:* [iago.abreu@fieb.org.br](mailto:iago.abreu@fieb.org.br)

**Iuri Silva Brito**

Estudante do Bacharelado em Energias e Sustentabilidade (BES) pelo centro universitário CETENS - localizado em Feira de Santana, da Universidade Federal do Recôncavo Baiano (UFRB), Bahia.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/3922759004885611>

**João Erivando Soares Marques**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Campina Grande (2004), graduação em Engenharia Elétrica pela FAINOR (2018), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB, 2006) e doutorado em Engenharia Mecânica pela UFPB (2010).

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

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

*E-mail:* [erivando@ifba.edu.br](mailto:erivando@ifba.edu.br)

**João Vitor Siqueira Fonseca**

Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, com experiência em projetos de inovação e Lean Healthcare aplicados à área da saúde. Atuou em iniciação tecnológica (PIBITI) com foco em Digital Twin e possui vivência prática em qualidade hospitalar e produção industrial, sendo atualmente estagiário no CEPEDI, com ênfase em melhoria de processos e desenvolvimento tecnológico.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/6952976578837675>

**Joyce Mara Brandão Maia**

Mestre em Desenvolvimento Sustentável, com pesquisa sobre degradação de componentes em poliamida 12 produzidos por manufatura aditiva (Multi Jet Fusion). Atua como pesquisadora em projetos de PDI no SENAI CIMATEC, com experiência em materiais poliméricos, energia e manufatura aditiva.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/4682870647463782>

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0008-0835-0642>

*E-mail:* [joyce.maia@fieb.org.br](mailto:joyce.maia@fieb.org.br)

**Juliana Vinagre Lisboa**

Graduanda em Engenharia Mecânica pela Universidade SENAI CIMATEC, com experiência em desenho técnico e SolidWorks. Atua no Departamento de Projetos e Inovação (DPI), no setor de máquinas agrícolas, com foco em liderança e gerenciamento de projetos, planejamento e acompanhamento de iniciativas de desenvolvimento tecnológico e estudos de mercado agrícola. Participou da implementação do programa Lean Garage, aplicando Lean Manufacturing em oficinas automotivas. Integrou projetos de pesquisa em Indústria 4.0 (manufatura aditiva, RV/RA), desenvolve projeto no BAJA SAE (sistema 4x4) e possui produção em anais sobre realidade virtual aplicada à ergonomia e usabilidade no setor automotivo.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/3676437337430473>

*E-mail:* [julianavinagrelisboa@gmail.com](mailto:julianavinagrelisboa@gmail.com)

**Kenedy Marconi Geraldo Santos**

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2006), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, 2011) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA, 2018).

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/850022110577713>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-4980-7011>

*E-mail:* [kenedymarconi@ifba.edu.br](mailto:kenedymarconi@ifba.edu.br)

**Laisa Santos de Oliveira**

Graduanda em Engenharia Mecânica pelo SENAI CIMATEC, com atuação em iniciação científica voltada à experiência do usuário em ambientes imersivos aplicados à indústria automotiva. Integra a equipe Calangofec Baja e participa de projetos em mobilidade urbana com análise de dados e modelagem estatística, demonstrando interesse em inovação tecnológica, engenharia aplicada e soluções baseadas em dados.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/0191591718263302>

**Lucas Gregory Gomes de Almeida**

É doutorando em Design pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), com foco em realidade estendida. Possui graduação em Expressão Gráfica (2018), mestrado em Engenharia de Manufatura (2022) e especialização em Experimentação Tridimensional (2022). Sua pesquisa concentra-se na aplicação de tecnologias imersivas nos contextos de educação, treinamento e entretenimento.

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

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

*E-mail:* [lucas.gregory@ufpr.br](mailto:lucas.gregory@ufpr.br)

**Luis Alves Correia Filho**

Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA, 2016) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (2018).

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/4530064104275973>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-9561-2557>

*E-mail:* [luis.correia@ifba.edu.br](mailto:luis.correia@ifba.edu.br)

**Luiz Gutemberg Santiago Dias Junior**

Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI- CIMATEC), integrante do grupo de pesquisa em Metaverso na mesma instituição. Especialista em Logística e Gestão de Produção pela mesma instituição (2021). Possui graduação em Administração de Empresas com Habilitação em MKT pela União Metropolitana de Educação e Cultura (2012). Com curso de especialização em Gestão de Negócios (2015) pela mesma faculdade. Também possui especialização em Administração Pública e Gestão Urbana pela Faculdade Serra Brasil (2021).

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/7879275311295518>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-3998-353X>

*E-mail:* [luiz.j@aln.senaicimatec.edu.br](mailto:luiz.j@aln.senaicimatec.edu.br)

**Maicon Daniel Silva Santana**

Graduando em Engenharia Mecânica. Pesquisador do Laboratório de Modelagem e Tecnologias Imersivas (MTILab/UESC). Atua nas áreas de desenvolvimento de ambientes para realidade virtual e jogos digitais.

*E-mail:* [mdssantana.egm@uesc.br](mailto:mdssantana.egm@uesc.br)

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/6527950050196014>

**Marcus Vinícius Oliveira Ribeiro Brandão**

Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (CETENS), atua como estagiário no CEPEDI, com experiência em pesquisa aplicada nas áreas de automação, visão computacional, simulação de processos e manufatura aditiva. Possui trajetória em iniciação científica e tecnológica, com participação no desenvolvimento de soluções como gêmeos digitais, robótica assistiva e tecnologias sustentáveis, além de vivência em projetos de inovação e melhoria contínua.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/7539804353034691>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0003-0069-9491>

**Paulo Fernando de Almeida Souza**

Paulo Souza é doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo, com pós-doutorado em Design pela Design Factory Aveiro (Portugal), e mestre em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília. Professor da Escola de Belas Artes da Universidade Federal da Bahia, atua como docente-pesquisador nos programas de pós-graduação em Artes Visuais e Design, com foco em design para inovação social e sustentabilidade.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/4046431771669279>

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0009-9619-026X>

**Pedro Vitor Oliveira da Silva**

*Possui graduação em Sistemas de Informação pelo IFBA (2025).*

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/3574037055041499>

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0003-1336-4604>

*E-mail:* [pedrovitoros11@gmail.com](mailto:pedrovitoros11@gmail.com)

**Priscila Coutinho Miranda**

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial (PPG GETEC) da Universidade SENAI CIMATEC. Docente e pesquisadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IF Baiano) desde 2017. Mestre em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), licenciada em Ciências Biológicas pelo Instituto Prominas e graduada em Engenharia Agrônoma pela UFRB. Atuou na coordenação de equipe técnica na Cooperativa de Assessoria Técnica e Educacional para o Desenvolvimento da Agricultura Familiar (COOTRAF), em projetos de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) em diferentes territórios da Bahia, e como docente nos cursos técnicos de Agroindústria, Agropecuária, Agroecologia e Zootecnia no Centro Territorial de Educação Profissional do Vale do Jiquiriçá (CETEP).

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/9953001404445240>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-0874-9097>

*E-mail:* [priscila.miranda@fieb.senaicimatec.edu.br](mailto:priscila.miranda@fieb.senaicimatec.edu.br)

## SUMÁRIO

**Rafael Vieira 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](mailto:gabriel2@aln.senaicimatec.edu.br)

**Rodrigo Santiago Coelho**

Doutor em Engenharia Mecânica, professor associado e pesquisador líder do Instituto SENAI de Inovação em Conformação e União de Materiais (ISI C&UM) no SENAI e professor convidado na TU Berlin, Alemanha (desde 2010). Tem experiência nas áreas de processos de fabricação, propriedades mecânicas dos materiais e caracterização microestrutural.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/6700468393002141>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-6024-0768>

*E-mail:* [rodrigo.coelho@fieb.org.br](mailto:rodrigo.coelho@fieb.org.br)

**Rui Silva**

Professor Associado na Universidade Lusíada, doutor em Engenharia, com atuação nas áreas de Inteligência Artificial, Engenharia Industrial e Sistemas Integrados. Possui experiência consolidada em pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico, com produção científica relevante em contextos industriais e tecnológicos.

*Ciencia Vitae:* <https://www.cienciavitae.pt/F615-3619-60BB>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-7929-0367>

*E-mail:* [d1207@fam.ulusiada.pt](mailto:d1207@fam.ulusiada.pt)

**Sanval Ebert de Freitas Santos**

Arquiteto de Soluções Educacionais e especialista em Inteligência Artificial, atua na SENAI CIMATEC, coordenando cursos de Engenharia de Computação e Ciência de Dados IA e liderando iniciativas em transformação digital e formação tecnológica. Doutor em Difusão do Conhecimento, com atuação em IA na Educação, integra tecnologia e ensino com foco em cibersegurança, inovação e desenvolvimento de soluções educacionais baseadas em tecnologias emergentes.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/6700242085425421>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0003-3196-6468>

*E-mail:* [sanval.santos@fieb.org.br](mailto:sanval.santos@fieb.org.br)

## SUMÁRIO

**Soraia Vanessa Matarazzo**

Professora plena da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) e colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT), integrando a comissão de propriedade intelectual do NIT/UESC. Realizou pós-doutorado em Bem-Estar Animal na University of California, Davis (UC Davis). Doutora em Física do Ambiente Agrícola e mestre em Ciência Animal e Pastagens pela ESALQ/USP. Graduada em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (FCAV/UNESP). Atua nas áreas de produção e bem-estar de bovinos leiteiros, com ênfase em estresse térmico, climatização e conforto animal.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/7011213298306081>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-5710-1406>

*E-mail:* [svmatarazzo@uesc.br](mailto:svmatarazzo@uesc.br)

**Thiago Barros Murari**

Coordenador dos Programas de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e em Gestão e Tecnologia Industrial (PPG GETEC) da Universidade SENAI CIMATEC, onde também atua como professor permanente no Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial. Vice-diretor do Centro Brasileiro de Pesquisa Aplicada em Inteligência Artificial (PRAIA/MCTI) e vice-coordenador do Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia da Bahia para a Indústria 4.0. Doutor e mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pelo PPG GETEC (SENAI CIMATEC) e graduado em Tecnologia Mecânica pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP). Atua nas áreas de inovação, indústria 4.0, transformação digital, sistemas complexos, mobilidade e sustentabilidade. Co-líder de grupo de pesquisa no CNPq. Possui experiência de 18 anos na Ford Motor Company como analista de engenharia, com participação em projetos globais de inovação digital.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/7011213298306081>

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-5598-2679>

*E-mail:* [thiago.murari@fieb.org.br](mailto:thiago.murari@fieb.org.br)

**Victoria Mariane Cardoso Silva**

Bacharel em Expressão Gráfica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e mestranda em Design pela mesma instituição, com ênfase em Realidade Estendida (XR). Atua nas áreas de Experiência do Usuário (UX), tecnologias imersivas e design de interfaces. Integra grupos de pesquisa e laboratórios voltados a tecnologias 3D, realidade virtual e neuromarketing, com experiência em projetos acadêmicos e aplicados. Possui produção científica nas áreas de ergonomia, experiência do usuário, análise de ondas cerebrais em ambientes de realidade virtual e animação 3D. Também atua profissionalmente como designer UI/UX, desenvolvendo soluções para aplicações mobile, web e experiências imersivas.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/5227951650435301>

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0000-5815-1686>

*E-mail:* [victoriamariane01@gmail.com](mailto:victoriamariane01@gmail.com)

### **Wagner Freitas e Silva**

Graduando em Engenharia Mecânica. Pesquisador do Laboratório de Modelagem e Tecnologias Imersivas (MTILab/UESC). Atua nas áreas de desenvolvimento de ambientes para realidade virtual e jogos digitais.

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/2045291560169178>

*E-mail:* [wfsilva.egm@uesc.br](mailto:wfsilva.egm@uesc.br)

### **Yasmim Thasla Santos Ferreira**

Engenheira da Computação formada na universidade SENAI CIMATEC, com experiência em competições de robótica educacional. Atualmente, gerente de produtos digitais no Grupo Boticário e pesquisadora em tecnologias imersivas e inteligência artificial. Mestranda em Gestão e Tecnologia Industrial na universidade SENAI CIMATEC.

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

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

*E-mail:* [yasmim.ferreira@aln.senaicimatec.edu.br](mailto:yasmim.ferreira@aln.senaicimatec.edu.br)

# ÍNDICE REMISSIVO

## A

acessibilidade 15, 16, 109, 151, 171, 175, 181, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 194, 195, 197, 198, 199, 200, 224  
 agentes virtuais 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 124  
 alfabeto 150, 151, 152, 153, 154, 158, 160  
 ambientes imersivos 15, 17, 65, 67, 69, 115, 118, 123, 126, 162, 181, 219, 226  
 ambientes virtuais 25, 27, 28, 30, 32, 63, 102, 104, 171, 181  
 aplicabilidade 20, 21, 64, 109, 110, 156, 204, 212  
 aprendizado de máquina 29, 43, 97, 105, 128  
 automação 15, 16, 84, 94, 137, 140, 204, 228

## B

bases Scopus 26  
 biofeedback 15, 57, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 116  
 Blockchain 43, 46

## C

capacidades tecnológicas 81, 82, 86, 87, 88  
 capacitação 20, 69, 73, 88  
 competências 18, 20, 21, 60, 69, 81, 162, 221  
 computação em nuvem 39, 45  
 controle remoto 40, 139, 140

## D

deep learning 43, 107  
 deficientes visuais 17, 183, 186, 200  
 desenvolvimento de produtos 29, 40, 43, 44, 45, 53, 205  
 desenvolvimento sustentável 19, 89  
 design de interface 33  
 diagnóstico 44, 82, 87  
 digital twins 44, 47, 99

## E

elementos finitos 53, 54

ensino e aprendizagem 102, 103, 104

equipes remotas 24, 25, 26

ergonomia 50, 51, 53, 54, 55, 189, 226, 230

experiência 15, 29, 32, 34, 54, 58, 59, 63, 64, 65, 67, 73, 76, 77, 105, 109, 115, 116, 118, 122, 123, 126, 163, 167, 170, 175, 178, 199, 218, 219, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 228, 229, 230, 231

experiência do usuário 29, 34, 58, 63, 65, 67, 73, 76, 77, 105, 126, 163, 219, 226, 230

## F

flexibilidade 20, 93, 118, 140, 190, 204

fluxos de trabalho 33, 190, 194

funcionalidades 29, 73, 129, 212

## H

habilidades práticas 32, 34

habilidades sociais 32

hardware 33, 34, 148, 158

## I

imersão 25, 58, 73, 77, 115, 116, 122, 123, 124, 163, 173, 175, 181

impressão 3D 45, 190, 195, 198, 204, 205, 208, 210, 212, 225

INCITE 15, 17, 18, 19, 21, 218, 223, 224, 229

indústria automotiva 51, 226

industrial internet of things 95

infraestrutura 20, 21, 33, 39, 81, 86, 105, 109, 173, 174, 190

integração de tecnologias 123, 205

inteligência artificial 15, 39, 45, 55, 78, 96, 102, 117, 118, 212, 221, 231

## L

laboratórios distribuídos 20

landmarks 150, 155, 159

Libras 16, 150, 151, 152, 158, 159, 160

SUMÁRIO

**M**

manipulação de objetos 24, 28, 73  
 manufatura 15, 17, 53, 56, 97, 98, 99, 140, 185, 188, 190, 194,  
 195, 200, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 213,  
 218, 219, 221, 224, 225, 226, 228  
 materiais aplicados 210  
 metodologia ativa 15, 68, 72  
 modelagem 44, 45, 73, 121, 123, 173, 178, 181, 189, 220,  
 224, 226  
 modelo conceitual 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 113  
 museu virtual 176, 179

**O**

otimização 43, 69, 70, 133, 147, 148, 159, 166, 174, 181, 182, 194,  
 204, 209, 212, 220, 221

**P**

padronização de procedimentos 20, 190  
 patrimônio cultural 15, 17, 162, 183, 184, 186, 190, 199, 201  
 percepção de risco 15, 59, 62, 63, 64, 65  
 pesquisa aplicada 15, 19, 20, 22, 110, 221, 228, 229  
 petróleo e gás 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45  
 políticas públicas 19, 82, 83, 85, 184  
 produtividade 18, 34, 43, 44, 46, 55, 69, 223  
 protocolo PRISMA 104  
 prototipagem 20, 72, 92, 182, 198  
 protótipos 43, 55, 196

**R**

realidade aumentada 45, 178  
 realidade virtual 15, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 41, 42, 43,  
 45, 46, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 67,  
 68, 78, 115, 116, 120, 122, 125, 162, 163, 167, 170,  
 171, 172, 177, 178, 180, 181, 221, 224, 226, 227,  
 229, 230, 231  
 rede integrada 19, 20  
 redes neurais artificiais 108, 150  
 reprodutibilidade 20, 187, 189

robô 130, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 159  
 robótica 45, 128, 140, 228, 231

**S**

sensibilidade 43, 151  
 serviços autônomos 127  
 setor produtivo 17, 18, 19, 21, 22  
 simulações 20, 45, 51, 63, 116, 171  
 sistemas de informação 33, 82, 205  
 sistemas legados 16, 95  
 soluções tecnológicas 25, 229  
 sustentabilidade 18, 87, 189, 191, 194, 201, 205, 212, 228, 230

**T**

tecnologia assistiva 17, 183, 188, 198  
 tecnologias de fronteira 42  
 tecnologias imersivas 15, 18, 20, 170, 177, 178, 179, 181, 218,  
 219, 227, 230, 231  
 telepresença 27, 28  
 teletrabalho 24, 25, 26, 28, 31  
 tomada de decisão 44, 62, 71, 82, 85, 107, 130, 142, 145,  
 146, 223  
 trabalho remoto 24, 27, 28, 32, 33  
 transferência de conhecimento 18, 22  
 transformação digital 15, 71, 80, 81, 82, 85, 98, 103, 188,  
 229, 230  
 turismo virtual 16, 166

**U**

usabilidade 34, 51, 54, 55, 70, 171, 226  
 usuários 30, 32, 33, 50, 53, 65, 95, 115, 129, 130, 134, 142, 159,  
 164, 166, 170, 175, 181, 182, 188, 196, 199

**V**

videoconferência 24, 31, 171

**W**

Web of Science 26, 104

VOLUME 2

[www.pimentacultural.com](http://www.pimentacultural.com)

# COMPETÊNCIAS DO AMANHÃ

Pesquisa e Prática com Tecnologias Imersivas,  
Aditivas e de Fronteira na Indústria 4.0 e Além



SENAI  
**CIMATEC**  
UNIVERSIDADE



**UFBA**  
Universidade  
Federal da Bahia



**Universidade  
Estadual de  
Santa Cruz**

**INSTITUTO  
FEDERAL  
Bahia**  
Campus  
Vitória da  
Conquista



**fapesb**  
Fundação de Amparo  
à Pesquisa do Estado da Bahia



**GOVERNO DA  
BAHIA**  
SECRETARIA DE CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

