

**UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP**

**DAVI DE ALBUQUERQUE GOMES**

**DESENVOLVIMENTO DE OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA O PROCESSO  
DE ENSINO APRENDIZAGEM DE MANUFATURA ADITIVA**

**SÃO PAULO**

**2025**

**DAVI DE ALBUQUERQUE GOMES**

**DESENVOLVIMENTO DE OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA O PROCESSO  
DE ENSINO APRENDIZAGEM DE MANUFATURA ADITIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves

Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação

Linha de Pesquisa: Redes de Empresas e Planejamento da Produção

Projeto de Pesquisa: Transformação Digital e Gestão da Inovação na Produção de Bens e Serviços

**SÃO PAULO**

**2025**

Gomes, Davi de Albuquerque.

Desenvolvimento de objeto de aprendizagem para o processo de ensino aprendizagem de manufatura aditiva / Davi de Albuquerque Gomes. – 2025.

75 f. : il. color. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2025.

Área de concentração: Gestão de Sistemas de Operação.  
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves.

1. Indústria 4.0. 2. Manufatura aditiva. 3. Objetos de aprendizagem. 4. Ensino de engenharia. 5. Metodologias ativas. 6. *Design Science Research*. I. Gonçalves, Rodrigo Franco (orientador). II. Título.

**DAVI DE ALBUQUERQUE GOMES**

**DESENVOLVIMENTO DE OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA O PROCESSO  
DE ENSINO APRENDIZAGEM DE MANUFATURA ADITIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves – Orientador  
Universidade Paulista – UNIP

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Lucia Figueiredo Facin  
Universidade Paulista – UNIP

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Gabriela Scur  
Fundação Educacional Inaciana Padre Sabóia de Medeiros – FEI

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família (Adelaide, Levi, Eli e Talita) que sempre acreditou que eu chegaria longe.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por sua misericórdia, pelo cuidado, pela providência diária e pela benção de completar mais essa etapa.

Expresso minha gratidão ao Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves, meu orientador, pelo valioso conhecimento compartilhado, pelo apoio e pelas contribuições fundamentais ao longo de todo o processo desta dissertação.

Agradeço também à Profa. Dra. Ana Lucia Figueiredo Facin e aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), cujos ensinamentos contribuíram significativamente para minha formação.

À Sra. Márcia Nunes, secretária do PPGEP, deixo meu reconhecimento pelo acolhimento e pelas orientações administrativas sempre prestativas.

Sou grato aos colegas do curso de mestrado/ doutorado, pela amizade, parceria e troca de experiências, que tornaram essa trajetória mais leve e enriquecedora.

Este trabalho contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), a quem também agradeço imensamente.

Por fim, agradeço à Universidade Paulista – UNIP, pelas oportunidades concedidas como aluno, especialmente pela concessão da bolsa que viabilizou a realização deste mestrado.

*Pois nEle vivemos, nos movemos e existimos. Apóstolo Paulo*

## RESUMO

A Indústria 4.0 tem impulsionado transformações significativas nos sistemas produtivos e nas exigências formativas para engenheiros. Dentre suas tecnologias habilitadoras, a Manufatura Aditiva destaca-se por seu potencial disruptivo, embora o acesso prático a essa tecnologia em cursos de engenharia no Brasil ainda seja limitado pela escassez de impressoras 3D. Nesse contexto, esta dissertação tem como objetivo desenvolver um Objeto de Aprendizagem digital voltado ao processo de ensino-aprendizagem de MA, capaz de mitigar os impactos da desproporção entre estudantes e equipamentos disponíveis. A pesquisa adota a metodologia Design Science Research e foi estruturada em três etapas: i) mapeamento de metodologias ativas aplicáveis ao ensino de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0; ii) revisão sistemática sobre o uso de OAs no ensino de MA; e iii) desenvolvimento de um protótipo funcional de OA baseado em simulação web. Os resultados revelam que, embora haja crescente interesse por estratégias pedagógicas ativas e recursos digitais, ainda são escassos os estudos que operacionalizem essas abordagens no ensino da MA. Como contribuição, a dissertação oferece uma proposta concreta de inovação educacional, com potencial para ampliar o acesso ao conhecimento técnico, mesmo em contextos com infraestrutura limitada. A principal limitação do estudo foi a não implementação integral do OA, restringindo-se à entrega de um protótipo funcional. Recomenda-se, como pesquisa futura, a aplicação e validação do artefato em cursos de engenharia, bem como a expansão da abordagem para outras tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Manufatura Aditiva; Objetos de Aprendizagem; Ensino de Engenharia; Metodologias Ativas; Design Science Research.

## **ABSTRACT**

Industry 4.0 has driven significant transformations in production systems and in the training requirements for engineers. Among its enabling technologies, Additive Manufacturing stands out for its disruptive potential; however, practical access to this technology in Brazilian engineering programs remains limited due to the scarcity of 3D printers. In this context, this dissertation aims to develop a digital Learning Object focused on the teaching-learning process of AM, capable of mitigating the impacts caused by the mismatch between the number of students and the availability of equipment. The research adopts the Design Science Research methodology and is structured into three phases: (i) mapping of active learning methodologies applicable to teaching Industry 4.0 enabling technologies; (ii) a systematic literature review on the use of LOs in AM education; and (iii) development of a functional prototype of a web-based simulation LO. The results indicate that although there is growing interest in active pedagogical strategies and digital resources, studies that implement such approaches in AM education remain scarce. As a contribution, this dissertation presents a concrete proposal for educational innovation, with the potential to broaden access to technical knowledge even in resource-constrained contexts. The main limitation of the study was the inability to deliver the final LO, being restricted to a functional prototype. Future research should focus on applying and evaluating the artifact in engineering programs and expanding the model to other enabling technologies of Industry 4.0.

**Keywords:** Industry 4.0; Additive Manufacturing; Learning Objects; Engineering Education; Active Learning Methodologies; Design Science Research.

## UTILIDADE

Os resultados da presente pesquisa enriquecem o conhecimento científico, apresentando uma solução viável para o ensino de engenharia. Para isso, apresenta recurso digital para ensino-aprendizagem, através do qual estudantes de engenharia podem ser treinados e capacitados para o êxito profissional e aplicação de uma tecnologia que otimiza os processos de manufatura. Nossa proposta alinha-se às demandas e aos métodos empregados pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU estabelecem um roteiro para um futuro mais justo e próspero para todos, alinhando-se diretamente ao processo de ensino-aprendizagem relacionado à Indústria 4.0. Esta, por sua vez, é impulsionada pela convergência de tecnologias digitais e representa uma importante transformação nos sistemas produtivos. O ensino dessas tecnologias é fundamental para preparar profissionais para os desafios futuros e para promover o desenvolvimento sustentável.

Esta pesquisa contribui para esse cenário ao estar conectada aos ODS, com destaque para:

- **ODS 4 – Educação de Qualidade:** Na era da Indústria 4.0, é essencial que os profissionais desenvolvam tanto habilidades técnicas quanto competências transversais. O processo de ensino-aprendizagem deve ser inclusivo, equitativo e de alta qualidade, preparando candidatos para um mercado de trabalho cada vez mais tecnológico.
- **ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura:** A Indústria 4.0 estimula a inovação e a modernização dos setores industriais. O ensino dessas tecnologias assegura que os futuros profissionais estejam capacitados a desenvolver e implementar soluções inovadoras para os desafios enfrentados pela indústria contemporânea.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução dos Objetos de Aprendizagem .....	30
Figura 2 – Impressora 3D, insumos e peças produzidos .....	35
Figura 3 – Mapa Conceitual do Referencial Teórico .....	42
Figura 4 – Fluxo de Desenvolvimento do AO para PEA de AM em Engenharia .....	43
Figura 5 – Relação dos Objetivos com a Metodologia da dissertação .....	45
Figura 6 – Articulação entre o primeiro e segundo resultado .....	49
Figura 7 – Representação de temas em torno objetos de aprendizagem e impressão 3D.....	52
Figura 8 – Articulação entre o segundo e terceiro resultado .....	53
Figura 9 – Representação Visual do Objetos de Aprendizagem 1 .....	56
Figura 10 – Representação Visual do Objetos de Aprendizagem 2 .....	56
Figura 11 – Fluxo de Processo de Integração e Articulação dos Resultados .....	58
Figura 12 – Ciclo de Integração dos Resultados.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metodologias Ativas de Aprendizagem em relação às Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 .....	48
--	----

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Dados regionais do mercado de impressão 3D na educação .....	17
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D – Tridimensional

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ALO – Objeto de Aprendizagem Aumentado

AM – Manufatura Aditiva

AR – Realidade Aumentada

AV – Veículos Autônomos

BCT – Tecnologia *Blockchain*

BDA – Análise de *Big Data*

CAD – *Computer-Aided Design*

CAGR – Crescimento Anual Composta

CBL – Aprendizado Baseado em Desafios

CC – Computação em Nuvem

CDIO – *Conceive, Design, Implement, Operate*

CNC – *Computer Numerical Control*

CPS – Sistemas Ciberfísicos

CSV – *Comma-Separated Values*

DED – Deposição De Energia Direcionada

DLP – Impressão por Luz Direta

DNA – Ácido Desoxirribonucleico

DSR – *Design Science Research*

EBM – Fusão Por Feixe de Elétrons

ESSE – Engenharia de Software Empírica

FabLab – Laboratório de Fabricação

FDM – Modelagem por Deposição Fundida

FFF – Fabricação por Filamentos Fundidos

I4.0 – Indústria 4.0

IA – Inteligência Artificial

IOT – Internet das Coisas

ISVB – Sistema de Assistência Inteligente para Pessoas com Deficiência Visual

LBM – Fusão Por Feixe de Laser

LMS – Sistema de Gestão de Aprendizagem

MAA – Metodologias Ativas de Aprendizagem

MJ – *Material Jetting*  
ML – Aprendizado de Máquina  
MR – *Mixed Reality*  
NFC – *Near Field Communication*  
OA – Objeto de Aprendizagem  
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PBF – *Powder Bed Fusion*  
PBF – LB/M - Fusão Em Leito de Pó A Laser  
PBL – Aprendizado Baseado em Problemas  
PEA – Processo de Ensino Aprendizagem  
PIB – Produto Interno Bruto  
QR CODE – Código de Resposta Rápida  
RFID – Identificação por Radiofrequência  
RNA – Ácido Ribonucleico  
RS – Sistemas Robóticos  
RSL – Revisão Sistemática da Literatura  
SCOPE – Programa Senior Capstone em Engenharia  
SDL – Aprendizagem Autodirigida  
SI – Sistemas de Informação  
SLM – Fusão Seletiva a Laser  
SLS – Sinterização Seletiva a Laser  
SP(AM)<sup>2</sup> – Método de Análise de *Spatters* para Manufatura Aditiva  
STEM – *Science, Technology, Engineering, Arts and Math*  
STL – Estereolitografia  
TEA – Transtornos do Espectro Autista  
THI4 – Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0  
TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação  
TPP – Polimerização de Dois Fótons  
VR – Realidade Virtual  
WEB – Internet

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Contexto</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Problematização</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>20</b>
1.3.1	Objetivo Geral.....	20
1.3.2	Objetivos Específicos.....	21
<b>1.4</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>21</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização do Trabalho</b> .....	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Ensino de Engenharia na Era da Indústria 4.0</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Referencial Teórico Pedagógico</b> .....	<b>25</b>
2.2.1	Metodologias Ativas de Aprendizagem.....	25
2.2.2	Objeto de Aprendizagem .....	28
<b>2.3</b>	<b>Referencial Teórico Técnico</b> .....	<b>31</b>
2.3.1	Indústria 4.0 .....	31
2.3.2	Manufatura Aditiva ou Impressão 3D.....	34
<b>2.4</b>	<b>Referencial Teórico Metodológico</b> .....	<b>37</b>
2.4.1	Processo de Ensino Aprendizagem.....	37
2.4.2	Design Science Research.....	39
<b>2.5</b>	<b>Integração entre os referenciais teóricos</b> .....	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Metodologias Ativas de Aprendizagem no processo de Ensino Aprendizagem de Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Utilização de Objetos de Aprendizagem no ensino da Manufatura Aditiva na era da Indústria 4.0</b> .....	<b>50</b>
<b>4.3</b>	<b>Protótipo de um Objeto de Aprendizagem para ensino-aprendizagem de Manufatura Aditiva</b> .....	<b>54</b>
<b>4.4</b>	<b>Integração e Articulação dos Resultados</b> .....	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>63</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto

O mundo industrial está em plena transformação, conhecida como Indústria 4.0 (I4.0), que entrelaça inovações, que segundo Akhtar (2022), incluem: Análise de Big Data (BDA), Inteligência Artificial (IA), Aprendizado de Máquina (ML), Internet das Coisas (Iot), Sensores, Tecnologia Blockchain (BCT), Sistemas Robóticos (RS), Computação em Nuvem (CC), Sistemas Ciberfísicos (CPS), Manufatura Aditiva (AM) ou Impressão 3D, Realidade Virtual (VR), Realidade Aumentada (AR), Veículos Autônomos (AV) e Drones.

A I4.0 emerge como um marco na manufatura, impulsionando a eficiência, a inovação e a competitividade. Wang *et al.* (2016) a denominam como a Quarta Revolução Industrial, caracterizada pelo uso de máquinas e ferramentas avançadas, equipadas com softwares de última geração e sensores em rede, capazes de planejar, antecipar, adaptar e regular os resultados sociais e os modelos econômicos.

Diante dessas transformações, Wanyama, Singh e Centea (2018) alertam para a importância da integração das Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 (THI4) no Processo de Ensino Aprendizagem (PEA) de engenharia, especialmente nas atividades de laboratório, preparando a próxima geração de profissionais para prosperar nesse novo panorama industrial. Sobre essas mudanças, Jorge *et al.* (2023) destacam que se espera que as universidades auxiliem no desenvolvimento das habilidades dos alunos, que são exigidas pelo mercado.

Nesse sentido, a Engenharia de Produção, menciona Piratelli (2005), surgiu com o objetivo de trazer racionalidade econômica à programação da produção, aos sistemas de produção e ao estudo de arranjos físicos em indústrias. Portanto, as mudanças na manufatura têm impacto nos cursos de engenharia.

Segundo Morosini e Corte (2018), é necessário adequar as práticas pedagógicas universitárias às exigências do mercado de trabalho. Wanyama, Singh e Centea (2018) complementam que essa adequação associa a operação de equipamentos laboratoriais, com o desenvolvimento de habilidades interpessoais, o cumprimento de normas de segurança e a capacidade de reação em emergências — competências que demandam vivências práticas.

Com isso, o foco é capacitar alunos a resolver com sucesso, desafios

decorrentes das atividades essenciais da prática social em diversos cenários; incluindo o contexto social e tecnológico oriundo da I4.0 (Berbel, 2011). Essas tecnologias habilitadoras têm transformado significativamente as indústrias e moldado o futuro do setor.

Autores como Bharti (2024), referindo-se a AM, uma das TH14; destaca que ela melhora a manufatura otimizando a utilização dos recursos produtivos além de reduzir os tempos de entrega ao possibilitar a produção sob demanda e localizada.

A crescente integração da MA no setor industrial evidencia a importância de contar com engenheiros capacitados e familiarizados com essa tecnologia emergente. Além disso, engenheiros com formação sólida em manufatura aditiva são peça-chave na implementação de novas abordagens de gestão alinhadas às exigências da I4.0, permitindo que as empresas se tornem mais sustentáveis, inovadoras e competitivas (Neuenfeldt Júnior *et al.*, 2024).

Segundo a PW Consulting (2024), a adoção da impressão 3D em instituições educacionais varia significativamente entre as regiões ao redor do mundo. A América do Norte lidera o mercado de impressão 3D na educação, impulsionada por uma infraestrutura educacional bem estabelecida e investimentos significativos em educação STEM. Nos Estados Unidos, a adoção de tecnologias educacionais avançadas, incluindo a impressão 3D, é facilitada por financiamentos governamentais e privados, permitindo sua ampla integração em escolas e universidades. Espera-se que a região mantenha sua posição de liderança, com uma taxa de Crescimento Anual Composta (CAGR) de aproximadamente 12% durante o período de previsão (Dataintel, 2024).

A Europa também apresenta um mercado significativo para a impressão 3D na educação, com países como Alemanha, Reino Unido e França na vanguarda. A União Europeia promove ativamente a educação STEM e a alfabetização digital, fornecendo financiamento e apoio para a integração de novas tecnologias nas instituições educacionais. A ênfase em inovação e pesquisa impulsiona ainda mais a adoção da impressão 3D, com uma previsão de crescimento estável e uma CAGR de cerca de 11,5% de 2024 a 2032 (Dataintel, 2024).

Prevê-se que a região da Ásia-Pacífico experimente a maior taxa de crescimento no mercado de impressão 3D na educação, com uma CAGR superior a 14% durante o período de previsão. Países como China, Japão, Coreia do Sul e Índia estão investindo significativamente em seus sistemas educacionais para promover a

adoção tecnológica e a inovação. Iniciativas governamentais, como o "Made in China 2025" e o "Digital Índia", incentivam a incorporação de tecnologias avançadas, como a impressão 3D nos currículos educacionais (Dataintel, 2024).

Na América Latina, observa-se um interesse crescente na impressão 3D na educação, com programas piloto e parcerias visando integrar essa tecnologia nos currículos. No Oriente Médio e África, embora a adoção seja mais limitada devido a restrições econômicas, iniciativas estão sendo implementadas para utilizar a impressão 3D com fins educacionais; focando no desenvolvimento de habilidades que possam contribuir para as indústrias locais (PW Consulting, 2024). O Quadro 1 sintetiza essa distribuição regional do cenário mundial de impressoras 3D.

No Brasil, iniciativas como a da empresa 3D Criar têm desempenhado um papel fundamental na disseminação da impressão 3D em escolas e universidades. A empresa colaborou com mais de 100 professores e forneceu equipamentos para instituições públicas, incluindo escolas na cidade de São Paulo. No entanto, a falta de formação adequada para os educadores ainda representa um obstáculo para a plena integração da tecnologia nas salas de aula (3D Centro América, 2025).

Esses relatos mencionam que a aplicação da impressão 3D no Brasil, e a adoção da tecnologia, ainda é limitada por barreiras econômicas, estruturais e pela falta de políticas públicas específicas. Apesar dos avanços, a adoção da impressão 3D na educação brasileira ainda é limitada por fatores como custos elevados e falta de políticas públicas específicas.

Quadro 1 – Dados regionais do mercado de impressão 3D na educação

REGIÃO	CRESCIMENTO ANUAL COMPOSTO (CAGR)	DESTAQUES PRINCIPAIS	DESAFIOS E OBSERVAÇÕES
AMÉRICA DO NORTE	~12% até 2030	Liderança de mercado- Infraestrutura robusta- Parcerias institucionais e subsídios governamentais	Alta adoção devido a investimentos fortes
EUROPA	~11,5% de 2024 a 2032	Expansão em países como Alemanha, Reino Unido e França- Incentivos da União Europeia para educação STEM	Adoção crescente, foco em alfabetização digital
ÁSIA-PACÍFICO	>14% (maior taxa global)	Investimentos massivos (ex: "Made in China 2025")- Ênfase em educação STEM- Crescimento rápido	Grande potencial, expansão acelerada
AMÉRICA LATINA	Não especificado (em crescimento)	Reconhecimento do potencial- Programas piloto e parcerias iniciando	Custos elevados e infraestrutura limitada
ORIENTE MEDIO E ÁFRICA	Não especificado (em estágios iniciais)	Adoção emergente- Esforços para alinhar tecnologia com demandas locais	Limitações econômicas e infraestrutura restrita

Fonte: Adaptado de Cognitive Market Research (2025).

A Universidade Regional do Cariri (URCA) realizou uma pesquisa que destacou a importância da manufatura aditiva no PEA de engenharia, utilizando metodologias ativas. O estudo revelou que o uso de impressoras 3D em atividades acadêmicas promove aulas mais interativas e dinâmicas, estimulando o desenvolvimento do pensamento crítico e analítico dos alunos (Barbosa *et al.*, 2021).

Atualmente, não há um levantamento nacional abrangente que quantifique o número de impressoras 3D disponíveis nas instituições de ensino superior brasileiras. Mas os dados do Instituto Semesp (2025), revelam que os concluintes em cursos superiores no país são: 783.505 (presencial) e 591.284 (EAD), o que totaliza 1.374.789 concluintes em 2023. Porém, não há informação de quantos equipamentos estiveram disponíveis ou quantos desses alunos tiveram acesso a essa tecnologia.

Apesar do grande potencial e diversidade de aplicações das tecnologias de manufatura aditiva, estas estão sendo ainda usadas de forma incipiente no Brasil. Em um artigo publicado no blog "UFABC Divulga Ciência", o professor Miguel Angel Calle Gonzales discute a popularização da impressão 3D e sua presença em ambientes educacionais. Ele observa que, apesar do crescimento do uso de impressoras 3D, ainda existem desafios para sua ampla adoção nas universidades, incluindo a necessidade de capacitação de professores e investimentos em infraestrutura (Gonzales, 2021).

De acordo com De Araújo Silva, Reategui e De Oliveira (2019), existe um desafio em integrar várias fontes de aprendizado e experiências, adaptando-se ao longo do tempo aos conceitos da Quarta Revolução Industrial ao ambiente acadêmico. Paralelamente, alunos de engenharia têm sido agentes ativos na busca pelo conhecimento na sociedade da informação, e o desenvolvimento de ambientes virtuais de aprendizagem apoiados por tecnologias educacionais tem proporcionado novas oportunidades.

Diante da limitação no acesso a impressoras 3D físicas, a implementação de soluções digitais, como simuladores e plataformas interativas, destaca-se por contribuir significativamente para a busca de alternativas que promovam uma aprendizagem eficaz, mesmo em contextos com recursos limitados. Quando estruturados com metadados educacionais e utilizados com objetivos instrucionais, simuladores e plataformas interativas podem ser considerados Objetos de Aprendizagem (Conde *et al.*, 2021), pois possibilitam a experimentação, a visualização de processos complexos e o desenvolvimento de habilidades técnicas, sem a necessidade de equipamentos físicos. Kerimbayev *et al.* (2023) acrescentam

que a Internet tem aumentado a disponibilidade de recursos que auxiliam nesse processo.

A partir dessa realidade, apresenta-se a seguinte problematização:

## 1.2 Problematização

Atualmente, não há um indicador oficial ou amplamente adotado que estabeleça uma relação direta entre o número de alunos e a quantidade de impressoras 3D em instituições de ensino superior, seja no Brasil ou internacionalmente. No entanto, estudos de caso e pesquisas específicas fornecem *insights* sobre a disponibilidade e o acesso a impressoras 3D em ambientes educacionais, especialmente em cursos de engenharia.

Mas é possível encontrar exemplos de desproporção entre Alunos e disponibilidade Impressoras 3D. Segundo To, Al Mahmud e Ranscombe (2025), em países de primeiro mundo a AM já é uma realidade e está integrada à educação em engenharia, ao passo que não existe pesquisas que investigue a integração da Impressão 3D no ensino superior nos países em desenvolvimento.

Uma pesquisa realizada em uma Universidade no Vietnã revelou que uma instituição possuía apenas seis impressoras 3D do tipo Modelagem de Deposição Fundida (FDM) para atender a 500 estudantes de engenharia mecânica. Essa proporção de aproximadamente 1 impressora para cada 83 alunos resultava em congestionamento e limitava o tempo disponível para que os estudantes utilizassem os equipamentos (To; Al Mahmud; Ranscombe, 2025).

Em outro estudo realizado em 2023 com professores de escolas alemãs indicou que apenas 45% das escolas possuíam ao menos uma impressora 3D, e menos de 2% dos professores não pertencentes à área de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM) haviam integrado a impressão 3D em suas aulas. O que aponta para adoção limitada da tecnologia, mesmo em países com infraestrutura educacional avançada (Thyssen; Meier, 2023).

Nos Estados Unidos o relatório da Primary Research Group *et al.* (2022), elaborado com dados de 1.076 estudantes universitários indicou que 46% dos alunos das áreas de engenharia, matemática e ciência da computação já haviam utilizado impressoras 3D. Entretanto, muitos estudantes desconheciam a disponibilidade desses equipamentos em suas instituições, sugerindo uma possível subutilização ou

acesso restrito.

A escassez de impressoras 3D nas instituições de ensino em relação ao número de estudantes, especialmente em cursos de engenharia, pode limitar a aprendizagem prática e o desenvolvimento de habilidades essenciais em manufatura aditiva. Casos como os apresentados revelam que, embora algumas instituições de ensino estejam investindo em tecnologias como a impressão 3D, ainda persiste uma lacuna significativa entre a demanda estudantil e a disponibilidade desses equipamentos. Essa desproporção compromete a PEA prática e o desenvolvimento de competências essenciais em manufatura aditiva nos cursos de engenharia.

Diante desse cenário, a adoção de soluções digitais — como Objetos de Aprendizagem (AO) — configura-se como uma alternativa viável e estratégica para mitigar os impactos da limitação de infraestrutura, permitindo que os estudantes desenvolvam habilidades práticas mesmo na ausência de impressoras 3D físicas. O que instiga a pergunta norteadora desta pesquisa que é:

Questão de Pesquisa: De que forma a adoção de soluções digitais, como Objetos de Aprendizagem, pode mitigar os impactos da desproporção entre o número de estudantes e a disponibilidade de impressoras 3D nos cursos de engenharia?

Essa pergunta reflete diretamente os elementos-chave da problematização:

- A falta de proporcionalidade entre alunos e impressoras 3D;
- A importância do domínio manufatura aditiva na formação de engenheiros;
- A proposta de soluções digitais, como Objetos de Aprendizagem como alternativa viável.

Conceder uma resposta a essas questões contribui para superar desafios da formação de engenheiros no Brasil.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Desenvolver uma solução educacional digital baseada em Objetos de Aprendizagem que contribua no Processo de Ensino Aprendizagem de Manufatura Aditiva e amenize a desproporção do número de impressoras 3D nos cursos de engenharia.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Identificar e relacionar as Metodologias Ativas de Aprendizagem aplicadas ao aprendizado das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

Identificar como Objeto de Aprendizagem podem ser utilizados para o ensino de impressão 3D no contexto da formação de profissionais para Indústria 4.0.

Apresentar um protótipo de um Objeto de Aprendizagem de abordagem simplificada para o Ensino Aprendizagem de Manufatura Aditiva.

## 1.4 Justificativa

A presente pesquisa justifica-se por sua contribuição direta à integração entre Educação e I4.0, ao propor o desenvolvimento de um Objeto de Aprendizagem digital voltado ao PDE da Manufatura Aditiva nos cursos de engenharia. Esta iniciativa dialoga com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 4 – Educação de Qualidade, ao propor práticas pedagógicas inovadoras, acessíveis e centradas no aluno, e o ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, ao fortalecer a formação de profissionais capacitados para atuarem em ambientes industriais altamente tecnológicos e interconectados (Organização das Nações Unidas, 2025).

Bastos (2023) ressalta que por isso, o desafio não é apenas encontrar e contratar esses profissionais altamente qualificados, sabendo-se que “faltam, no mercado, pessoas com essas habilidades e experiências”. Nesse cenário, os OAs digitais, especialmente aqueles estruturados como simuladores interativos, emergem como alternativas viáveis, escaláveis e acessíveis para complementar ou substituir práticas presenciais.

A proposta desta pesquisa está fundamentada na metodologia Design Science Research (DSR), que permite desenvolver, prototipar e validar soluções educacionais tecnológicas com base em problemas reais, contribuindo tanto para o avanço do conhecimento quanto para a transformação prática do PEA de engenharia. O Objeto de Aprendizagem a ser desenvolvido poderá ser utilizado em diversas disciplinas como prototipagem rápida, design de produtos, tecnologias de produção e projetos integradores, promovendo o domínio técnico e o raciocínio sistêmico por meio de simulações digitais de processos reais de manufatura aditiva.

Além disso, o modelo proposto poderá ser escalado futuramente para contemplar outras TH14, como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Realidade Aumentada e Virtual (AR/VR), potencializando a construção de um ecossistema educacional mais conectado às demandas industriais contemporâneas (Gharibvand *et al.*, 2024). Assim, a presente dissertação pretende contribuir para a transformação digital do PEA de engenharia, estimulando a formação de profissionais mais autônomos, críticos e preparados para os desafios de um mercado global em constante evolução.

A principal relevância do domínio dessas tecnologias está na capacidade de transformar grandes volumes de dados em informações valiosas para a tomada de decisão, como destacam Morella *et al.* (2023), o que se dá através da união estratégica entre tecnologia e o potencial humano para impulsionar o crescimento sustentável do setor industrial. Bastos (2023) ressalta que o desafio não é apenas encontrar e contratar profissionais altamente qualificados, sabendo-se que “faltam, no mercado, pessoas com essas habilidades e experiências”.

Autores como Hermann, Pentek e Otto (2016, p. 12), afirmam que “a Indústria 4.0 permite a evolução de redes inteligentes ao longo da cadeia de valor que podem controlar a si mesmas de forma autônoma, resultando em uma produção mais flexível, eficiente e customizada”. Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2021), a I4.0 tem potencial para movimentar R\$73 bilhões/ano, mas atualmente no Brasil, a modernização industrial está em estágio inicial, com muitas empresas ainda usando métodos tradicionais. Especialistas da ABDI preveem que, em uma década, 15% das empresas de manufatura no Brasil terão adotado práticas da I4.0, à medida que se sentirem prontas para inovar e investir.

O Senai-RS (2023) apresenta impactos significativos da I4.0 na sociedade, novas tendências de personalização, abordagem mais tecnológica e sustentável que a indústria irá seguir, que agora são ditadas por uma sociedade que mudou as relações de produção e consumo. Num cenário em que a contribuição da indústria para o Produto Interno Bruto (PIB) caiu de 21,4% para 12,6% nos últimos 50 anos.

## **1.5 Organização do Trabalho**

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, que apresentam de forma sequencial os caminhos percorridos durante a realização da pesquisa:

- **Capítulo 1:** Introdução: apresenta a contextualização do tema, os objetivos e a justificativa da pesquisa.
- **Capítulo 2:** Fundamentação Teórica: discute os conceitos centrais e a evolução histórica das temáticas que sustentam o estudo.
- **Capítulo 3:** Materiais e Métodos: descreve os procedimentos metodológicos adotados na elaboração da dissertação, incluindo os artigos científicos que contribuíram para o alcance dos objetivos propostos. Todos os artigos foram aprovados e apresentados em congressos ou submetidos a periódicos científicos.
- **Capítulo 4:** Resultados e Discussão: apresenta os principais resultados obtidos, organizados sob a forma de artigos científicos que atendem aos objetivos específicos da pesquisa. Todos os artigos foram submetidos a periódicos internacionais ou aprovados em congressos internacionais. São eles:
  - **Artigo 1** – Metodologias Ativas de Aprendizagem no Processo de Ensino Aprendizagem de Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0.
  - **Artigo 2** – Utilização de Objetos de Aprendizagem no Processo de Ensino Aprendizagem da Manufatura Aditiva na era da Indústria 4.0.
  - **Artigo 3** – Protótipo de um Objeto de Aprendizagem para Processo de Ensino Aprendizagem de Manufatura Aditiva.
- **Capítulo 5:** Considerações Finais: apresenta uma análise geral da dissertação, sintetizando os principais achados e propondo possibilidades para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Ensino de Engenharia na Era da Indústria 4.0

O ensino de engenharia, tem sido marcado por abordagens expositivas e práticas laboratoriais presenciais, vem sendo desafiado pelas transformações tecnológicas e pelas exigências de um mercado de trabalho cada vez mais dinâmico e digitalizado (Broo; Kaynak; Sait, 2022; Hernández Sabaté *et al.*, 2024; Lyngdorf; Jiang; Du, 2024).

Com a I4.0, espera-se que os engenheiros tenham domínio de tecnologias como AM, automação inteligente, IoT e análise de dados. Também é necessário que desenvolvam competências socioemocionais, incluindo criatividade, resolução de problemas, trabalho em equipe e pensamento crítico (Caratozzolo *et al.*, 2022; Quintero; Maldonado, 2024).

Existe uma defasagem entre a formação acadêmica atual em engenharia e as competências exigidas pela I4.0. Para resolver essa lacuna, é preciso reformular as práticas pedagógicas, priorizando metodologias que incentivem o protagonismo dos alunos, a interdisciplinaridade e a integração entre teoria e prática (Broo; Kaynak; Sait, 2022; Caratozzolo *et al.*, 2022; Chigbu; Ngwevu; Jojo, 2023; Coşkun; Kayikci; Gençay, 2019; Quintero; Maldonado, 2024)

As metodologias ativas de aprendizagem, como a aprendizagem baseada em projetos, a sala de aula invertida e a problematização, são alternativas eficazes para o ensino de engenharia na era digital. Elas aproximam o aprendizado da realidade profissional, permitindo que os alunos apliquem conhecimentos em desafios práticos e contextualizados (Carvalho; Da Silva, 2024; Chigbu; Ngwevu; Jojo, 2023; Hernández Sabaté *et al.*, 2024)

Nesse contexto, recursos como simuladores, plataformas interativas e multimídia ampliam o acesso a experiências práticas de aprendizado, especialmente onde laboratórios físicos ou equipamentos (como impressoras 3D) são escassos. Conforme Conde *et al.* (2021) destacam, simuladores educacionais bem estruturados permitem a experimentação de processos complexos de forma acessível, segura e escalável (Bondin; Zammit, 2025; Ortiz *et al.*, 2025; To; Al Mahmud; Ranscombe, 2025).

Em todo o mundo, cada vez mais, instituições educacionais estão adotando a tecnologia de AM devido ao seu potencial para melhorar o ensino e a aprendizagem em todas as disciplinas. A I3D oferece oportunidades únicas de aprendizado experiencial e aplicação prática no ensino de engenharia (To; Al Mahmud; Ranscombe, 2025).

Assim, na combinação entre tecnologias emergentes, práticas pedagógicas inovadoras e recursos digitais interativos é essencial combinar tecnologias emergentes, práticas pedagógicas inovadoras e recursos digitais. Isso significa investir na qualificação de professores e no desenvolvimento de materiais educativos relevantes, garantindo que os cursos de engenharia formem profissionais críticos, autônomos e tecnicamente preparados (Bondin; Zammit, 2025; Broo; Kaynak; Sait, 2022; Chigbu; Ngwevu; Jojo, 2023; Christiansen *et al.*, 2022; To; Al Mahmud; Ranscombe, 2025)

## **2.2 Referencial Teórico Pedagógico**

### **2.2.1 Metodologias Ativas de Aprendizagem**

A literatura aponta que o conceito de aprendizagem ativa é anterior e mais abrangente que o termo "metodologias ativas". Bonwell e Eison (1991) foram pioneiros ao definir o conceito e listar técnicas como Aprendizagem Baseada em Problemas, estudos de caso e discussões em grupo, destacando a importância da ação e reflexão por parte dos alunos.

Trabalhos posteriores, como os de Prince (2004) e Brame (2016), reforçam que essas metodologias são manifestações práticas da aprendizagem ativa, funcionando como estratégias para engajar os estudantes no processo. Assim, as Metodologias Ativas de Aprendizagem (MAAs) são entendidas como instrumentos para a implementação da aprendizagem ativa em contextos educacionais.

Impulsionadas pelo progresso das tecnologias e sua aplicação no âmbito educacional, recentes tendências metodológicas têm privilegiado uma aprendizagem mais ativa e participativa por parte dos alunos (Estévez-Méndez *et al.*, 2024). Nesse contexto, as MAAs sobressaem como abordagens inovadoras e centradas nos

estudantes, com o objetivo de promover sua autonomia, participação e envolvimento no processo educativo (Cabanillas-García, 2025).

Essas metodologias superam o modelo tradicional de ensino fundamentado na transmissão passiva de informações, ao integrar os alunos como agentes ativos na construção do saber, incentivando o desenvolvimento de competências essenciais para sua formação integral (Cabanillas-García, 2025). Para alcançar esse objetivo, os educadores dispõem de uma variedade de estratégias e procedimentos didáticos que mobilizam os estudantes em atividades diversificadas, direcionadas à aquisição de múltiplas habilidades e à expansão das formas de aprender (Oliveira, 2025).

As MAAs representam abordagens educacionais focadas no aluno, que assume o papel de protagonista na construção do saber, ao passo que o professor atua como mediador do processo, estimulando a autonomia e o engajamento dos discentes (Lovato; Michelotti; Da Silva Loreto, 2018). Essas metodologias têm se consolidado nos últimos anos como estratégias relevantes para a inovação educacional, auxiliando na reformulação dos modelos convencionais de ensino (Zuluaga; Rodríguez, 2025).

Mais do que promover alterações na dinâmica da sala de aula, elas respondem a demandas por uma educação com maior significado humano, capaz de impulsionar transformações sociais tanto no plano individual quanto coletivo (Alfieri; Mora; García-Rojas, 2025). Embora essas práticas não sejam inteiramente inéditas, ainda são escassas as pesquisas que examinam a percepção dos estudantes e os impactos concretos dessas metodologias em seu aprendizado (Oliveira, 2025).

As MAAs constituem um modelo pedagógico fundamentado em uma perspectiva cognitiva e construtivista, que valoriza a atividade mental dos alunos e os reconhece como personagens centrais do processo educacional (Do Cabo, 2025). Nessa abordagem, a ênfase desloca-se do professor para o estudante, que passa a ser o protagonista da experiência de aprendizagem. O papel do educador transforma-se, deixando de ser mero transmissor de conhecimento para atuar como facilitador e mediador da construção do saber (Cabanillas-García, 2025).

Essas metodologias englobam o uso intencional de métodos e táticas que estimulam a participação ativa dos alunos, auxiliando no desenvolvimento de competências amplas e habilidades específicas de cada área do conhecimento (Alfieri; Mora; García-Rojas, 2025). Estratégias como a aprendizagem baseada em projetos, o trabalho colaborativo e o uso de ferramentas digitais favorecem o diálogo,

a cooperação e a experimentação em contextos sociais e profissionais (Gutierrez *et al.*, 2024; Zuluaga; Rodríguez, 2025).

Ao inserir os estudantes em situações de aprendizado mais dinâmicas e significativas, essas metodologias colaboram para o desenvolvimento do pensamento crítico, da responsabilidade e da autonomia, aspectos fundamentais para responder às exigências da escola contemporânea (Oliveira, 2025). Além do ensino fundamental e médio, sua aplicação tem se expandido para a educação superior em diferentes países, fomentando maior interesse dos alunos pelas aulas ao conectar os conteúdos com situações da vida cotidiana e favorecer a criação de novos saberes a partir de conhecimentos prévios (Lovato; Michelotti; Da Silva Loreto, 2018).

As MAAs têm se desenvolvido anualmente de diferentes formas, com novas propostas de aprendizagens colaborativa e cooperativa, frequentemente confundidas por suas similaridades, evidenciando a ausência de uma classificação sistemática para organizá-las em categorias (Lovato; Michelotti; Da Silva Loreto, 2018). Alguns exemplos de MAAs são mencionados por Lovato, Michelotti e Da Silva Loreto (2018) e Da Silveira *et al.* (2024): Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), Aprendizagem Baseada em Times (TBL), Student-Teams-Achievement Divisions (STAD), Ensino Híbrido, Instrução por Pares (Peer Instruction), Jigsaw, Problematização, Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL), Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom) e Torneios de Jogos em Equipes (Teams-Games-Tournament – TGT). Ally (2004) e Wiley *et al.* (2000) incluem os Objetos de Aprendizagem neste grupo, estando frequentemente discutidas em conjunto com abordagens construtivistas e ativas de aprendizagem.

A adoção das MAAs esbarra em diversos desafios, entre eles, a exigência de capacitação contínua e especializada dos educadores; sobretudo no uso de tecnologias e métodos inovadores. Docentes relutantes à adoção dessas metodologias, devido ao apego a práticas tradicionais, somados à carência de recursos e ao suporte institucional precário, dificultam ainda mais sua aplicação. No que diz respeito aos estudantes, embora alguns acolham bem essas metodologias, outros manifestam resistência devido à maior carga de trabalho. As opiniões sobre sua eficiência também variam, sendo algumas abordagens percebidas como excessivamente exigentes e estressantes (Cabanillas-García, 2025).

As tecnologias da Indústria 4.0 são inerentemente interativas (Rana; Rathore, 2023), e a Aprendizagem Ativa é fundamental para a aquisição de habilidades em

ambientes interativos que simulam o mundo real (Margheritti; Marcucci; Miglioretti, 2025). Implementar a MAAs com ambientes simulados permitem que os alunos experimentem e controlem processos industriais sem riscos, desenvolvendo habilidades práticas e de tomada de decisão (Ortiz *et al.*, 2025). Essas metodologias favorecem a aprendizagem significativa, no ensino de Engenharia de Produção (Carvalho; Da Silva, 2024; Pinheiro; Dickmann; Muller, 2023; Venturini; Silva, 2018).

### 2.2.2 Objeto de Aprendizagem

O conceito de Objetos de Aprendizagem surgiu no contexto dos sistemas de ensino a distância, sendo inicialmente citado por Wayne Hodgins em 1994. Desde então, diversas terminologias têm sido utilizadas para designá-los, como "Objetos Pedagógicos", "Objetos de Conteúdo" e "Objetos de Conhecimento". Em 2002, o Comitê de Padrões de Tecnologia de Aprendizagem do IEEE definiu os OAs como "qualquer entidade, digital ou não, que pode ser usada para aprendizagem, educação ou treinamento" (Amane; Aissaoui; Berrada, 2023). Esses objetos foram idealizados com o objetivo de facilitar a localização e a reutilização de conteúdos educacionais disponíveis na internet, tornando-se relevantes por proporcionarem ao processo de ensino-aprendizagem características como interatividade, dinamismo e flexibilidade (Dos Santos Soares *et al.*, 2024).

Os OAs são definidos como entidades, digitais ou não, elaboradas com a finalidade de auxiliar, facilitar e promover processos de ensino, aprendizagem ou treinamento (Dos Santos Soares *et al.*, 2024). Caracterizam-se por sua modularidade, reusabilidade e interoperabilidade, podendo ser empregados em diferentes contextos educacionais sem demandar modificações significativas (Ikram *et al.*, 2024). Segundo Sengupta, Pal e Pramanik (2023), cada OA é construído em torno de um único objetivo de aprendizagem, integrando conteúdos, exemplos práticos e instrumentos de avaliação de forma integrada.

Esses objetos podem conter variados formatos de mídia — como textos, imagens, vídeos, áudios e conteúdos interativos — e são acompanhados de metadados que detalham suas características, otimizando sua catalogação e disseminação (Jaruševičius *et al.*, 2024).

Além disso, consistem em representações digitais que procuram transmitir conceitos e ideias por meio de múltiplas modalidades de mídia, frequentemente

incorporando funcionalidades interativas, visando sua reutilização em distintos contextos pedagógicos (Durán-González *et al.*, 2023).

Como salientam Marques de Santana Costa *et al.* (2024), os OAs são conteúdos estruturados que podem ser armazenados em repositórios digitais com o propósito de aperfeiçoar sua localização e reutilização, reforçando seu papel no desenvolvimento de estratégias educacionais mais flexíveis, acessíveis e eficazes.

Os OAs apresentam características singulares que os tornam instrumentos pedagógicos potentes, sobretudo no contexto da educação mediada por tecnologias digitais. Dentre essas características destacam-se: reusabilidade, granularidade, acessibilidade e interoperabilidade. A reusabilidade está associada à possibilidade de aplicar o mesmo recurso em distintas situações de ensino-aprendizagem; a granularidade refere-se à modularidade do OA, possibilitando sua combinação com outras unidades; a acessibilidade diz respeito à facilidade com que o objeto pode ser localizado e utilizado; e a interoperabilidade assegura seu funcionamento em diferentes plataformas e sistemas computacionais (De Castilho; Trevisan; Marczal, 2022).

Tais objetos são concebidos para serem modulares e flexíveis, com o objetivo de se adaptarem a variados perfis de alunos e contextos educacionais (Ikram *et al.*, 2024). Sua natureza digital, associada à criação em ambientes computacionais, confere-lhes funcionalidades específicas que facilitam sua indexação e recuperação em repositórios especializados (Amane; Aissaoui; Berrada, 2023). Para os docentes, os OAs representam ferramentas versáteis que podem ser empregadas de múltiplas maneiras, como na instrução direta, em atividades investigativas, como mediadores na resolução de problemas, recursos de autoestudo ou ainda como base para o design de novos objetos (Durán-González *et al.*, 2023).

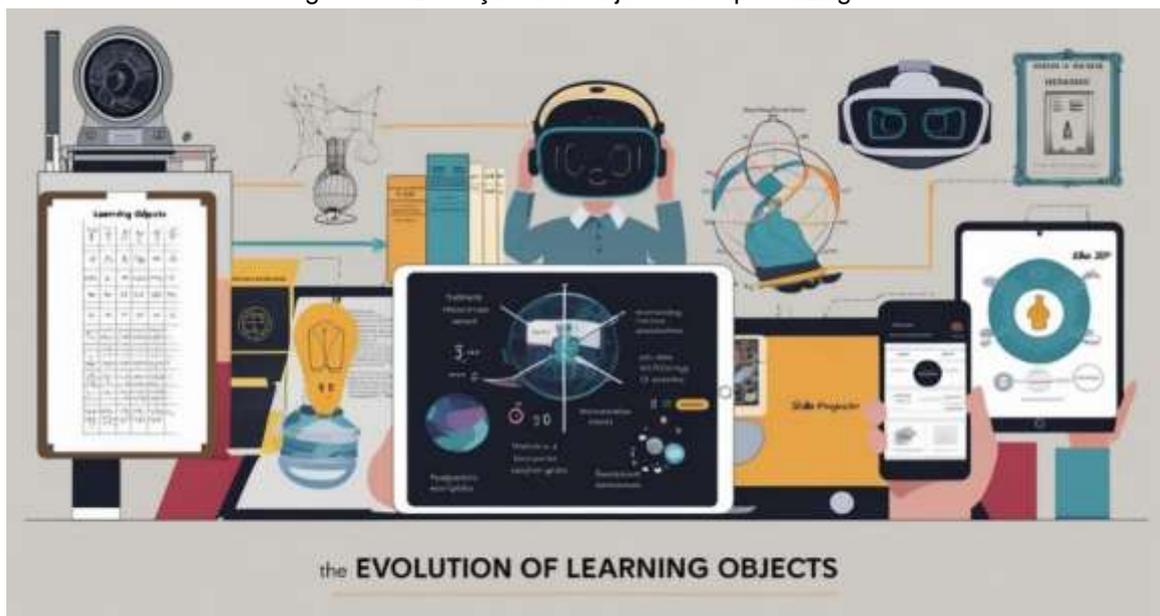
Apesar de sua utilidade, a elaboração de um OA é um processo complexo que demanda competências técnicas, pedagógicas, metodológicas e ergonômicas, exigindo uma abordagem de natureza multidisciplinar (Zatti; Kalinke, 2024). Sob a perspectiva pedagógica, os OAs têm se mostrado eficazes na promoção da aprendizagem, sendo capazes de estimular os alunos, reforçar conteúdos abordados em sala de aula, otimizar o desempenho acadêmico e favorecer o autoestudo (Riad *et al.*, 2024; Rossetti-López; Coronado-García; Rojas-Rodríguez, 2023).

Adicionalmente, contribuem para o desenvolvimento da autorregulação da aprendizagem, uma vez que possibilitam ao estudante identificar seus erros, formular

hipóteses e construir novos conhecimentos por meio da resolução de problemas (De Castilho; Trevisan; Marczal, 2022). Assim, a eficácia dos OAs relaciona-se diretamente à sua capacidade de apoiar ativamente os processos de ensino e aprendizagem (Durán-González *et al.*, 2023).

Os OAs apresentam uma diversidade conceitual e funcional reconhecida pela comunidade acadêmica, podendo ser relacionados a diferentes categorias, como objetos de conteúdo, educacionais, de informação e de conhecimento (Amane; Aissaoui; Berrada, 2023). Essa adaptabilidade está ligada à sua propriedade de serem reutilizáveis e compartilháveis em múltiplos cenários, tornando-se amplamente empregados, especialmente no campo da Tecnologia da Informação, onde a reutilização de componentes é uma prática valorizada (Ikram *et al.*, 2024). A Figura 2 ilustra a evolução dos OAs.

Figura 1 – Evolução dos Objetos de Aprendizagem



Fonte: Autor (2025).

Para que essa reutilização seja produtiva, é fundamental a correta anotação dos metadados dos OAs, pois são esses dados que possibilitam sua categorização e localização em repositórios digitais, facilitando o acesso a conteúdos relevantes e adequados para diferentes contextos pedagógicos (Jaruševičius *et al.*, 2024). Nesse sentido, os metadados não somente organizam e descrevem o conteúdo, mas também tornam viável a adaptabilidade e a acessibilidade dos objetos.

A acessibilidade, por sua vez, constitui um elemento primordial no

desenvolvimento de OAs inclusivos, embora sendo necessário dispor de ferramentas adequadas que permitam sua produção eficiente (Rossetti-López; Coronado-García; Rojas-Rodríguez, 2023), tornasse acessível por suas adaptações e pelos metadados de acessibilidade correspondentes, tanto do objeto original quanto de suas versões adaptadas, assegurando que diferentes perfis de usuários possam utilizá-lo de maneira equitativa (Dos Santos Soares *et al.*, 2024).

É fundamental criar um cenário de aprendizagem personalizado que possa se ajustar ao estilo de aprendizagem dos alunos e sugerir, de forma inteligente, objetos de aprendizagem que aprimorem o processo educativo (Riad *et al.*, 2024). Recomendar objetos de aprendizagem apropriados tornou-se um desafio atual para educadores e pesquisadores, que estão desenvolvendo novas ideias para ajudar os alunos a aprimorarem seu processo de aprendizagem (Kaiss; Mansouri; Poirier, 2023).

Dessa forma, os OAs não apenas complementam o uso de MAA, mas também se alinham diretamente aos objetivos da formação para a I4.0 (Mitsuoka, 2021). Ao simular, por exemplo, o funcionamento de uma impressora 3D ou o fluxo de trabalho de um processo aditivo, esses objetos, afirmam Sek, Law e Lau (2012) favorecem o controle do processo de aprendizagem, sendo mais interessantes, envolventes e motivadores e oferecem experiências de aprendizagem explicam conceitos complexos melhor do que abordagens tradicionais.

## **2.3 Referencial Teórico Técnico**

### **2.3.1 Indústria 4.0**

O conceito da Indústria 4.0, que surgiu em 2011 como parte da Estratégia Alemã de Alta Tecnologia 2020 e refere-se à quarta revolução industrial. Tem sido um tema muito debatido em diversos setores, e caracterizada por avanços em automação e manufatura inteligente (Coşkun; Kayikci; Gençay, 2019; Shabur; Rahman; Siddiki, 2023). Conscientes da relevância da I4.0, diversas estratégias semelhantes surgiram em diferentes países, como o "Plano Estratégico Nacional para Manufatura Avançada" nos EUA, iniciativas no Reino Unido e Japão, e o "Made in China 2025", entre outras (Mueller; Chen; Riedel, 2017).

A I4.0 surge como resposta aos desafios enfrentados pelas indústrias globais em acompanhar as crescentes demandas dos consumidores, mesmo com investimentos contínuos em sistemas de manufatura. Essa nova etapa da revolução industrial representa uma profunda transformação digital dos processos produtivos, caracterizada pela automação, troca de dados e integração de tecnologias avançadas, permitindo o aprimoramento de processos internos e externos em consonância com tecnologias transformadoras (Santa Rita *et al.*, 2024; Vishnoi *et al.*, 2024).

Além de modificar procedimentos industriais, a I4.0 também impacta a dinâmica da cadeia de valor e os regimes de propriedade intelectual, alterando o papel dos principais agentes envolvidos na produção (Prajapat *et al.*, 2024). Ela também representa uma transformação significativa na gestão empresarial por meio de inovações físicas, digitais e biológicas, contribuindo consideravelmente para o ambiente construído e para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2030 (Pachouri *et al.*, 2024; Piccarozzi *et al.*, 2024).

Embora os impactos técnicos ainda demandem mais estudos, especialmente no que diz respeito às tecnologias facilitadoras, é inegável que a I4.0 se consolida como um conceito central na era dos negócios competitivos e da personalização de produtos. Para manter a lucratividade e atender às exigências dos clientes com agilidade, a automação e a unificação das operações produtivas tornaram-se essenciais no novo cenário industrial, inclusive em setores agrícolas e alimentícios (Aït-Kaddour *et al.*, 2024; Santhiya; Jeyalakshmi; Venu, 2023).

A I4.0, originalmente concebida como uma iniciativa estratégica alemã em 2011 para revolucionar o setor de manufatura, evoluiu significativamente ao longo da última década. Mais do que uma simples etapa na história das revoluções industriais, ela representa uma transformação contínua dos sistemas industriais, impulsionada por rápidas inovações tecnológicas e pela digitalização (Santhiya; Jeyalakshmi; Venu, 2023; Sigov *et al.*, 2024). Essa nova era conectou dispositivos e sistemas de forma inteligente, estendendo seus impactos muito além da manufatura, alcançando setores como saúde, educação, bioinformática, comunicação e processamento de alimentos.

Assim como as revoluções industriais anteriores transformaram a sociedade, a I4.0 continua a redefinir as estruturas econômicas, sociais e tecnológicas por meio de tecnologias habilitadoras cada vez mais sofisticadas (Tanane *et al.*, 2025). Ela

representa uma nova era da manufatura inteligente, caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas aos sistemas físicos de produção.

Entre as principais tecnologias facilitadoras estão os Sistemas Ciberfísicos, a Internet das Coisas, a computação em nuvem, a Manufatura Aditiva, a Inteligência Artificial, o Aprendizado de Máquina, a Robótica Avançada, a Análise de Big Data, os Sensores Inteligentes, os Gêmeos Digitais, o Blockchain, a Realidade Aumentada/Virtual e a Segurança Cibernética. Essa convergência entre o mundo digital e físico possibilita a automação em alto nível, com máquinas interconectadas e capazes de tomar decisões baseadas em dados em tempo real, promovendo uma revolução na eficiência e no desempenho dos processos industriais (Aït-Kaddour *et al.*, 2024; Bhat; Parvez, 2024; Morella *et al.*, 2023; Prajapat *et al.*, 2024).

Além do ganho tecnológico, a I4.0 tem impactos significativos na sustentabilidade e na produtividade. A transformação digital permite minimizar desperdícios, reduzir ineficiências e eliminar atividades sem valor agregado, por meio da coleta e análise contínua de dados ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Isso resulta em processos mais flexíveis, transparentes e adaptáveis ao ambiente dinâmico da manufatura moderna, além de permitir o surgimento de novos modelos de negócio (Morella *et al.*, 2023). Dessa forma, a I4.0 não apenas transforma o chão de fábrica, mas também redefine a forma como as organizações interagem com o mercado e com o meio ambiente (Bhat; Parvez, 2024; Prajapat *et al.*, 2024).

Embora a I4.0 ofereça benefícios claros, ainda enfrenta grandes desafios para que seu potencial seja plenamente alcançado (Mueller; Chen; Riedel, 2017). Muitas organizações enfrentam barreiras como alto investimento de capital, estratégia insuficiente para a Indústria 4.0, falta de apoio governamental, falta de conhecimento sobre a I4.0, falta de equipe de gestão qualificada, infraestrutura de TI deficiente, risco de perda de emprego e risco de segurança de dados (Shabur; Rahman; Siddiki, 2023).

Além das dificuldades técnicas, a I4.0 também impõe grandes transformações no ambiente de trabalho, exigindo uma força de trabalho mais qualificada e adaptável (Ferreira *et al.*, 2025; Guertler *et al.*, 2024). A necessidade de capacitação contínua se torna essencial para que os profissionais possam operar e explorar todo o potencial das novas tecnologias. A introdução de inovações tecnológicas afeta diretamente o mercado de trabalho, tanto na criação de novas funções quanto na obsolescência de outras, o que reforça a importância de políticas e estratégias voltadas à formação, adaptação e inclusão profissional nesse novo cenário industrial.

A I4.0 representa uma transformação digital profunda nos processos industriais e demanda um novo perfil profissional — mais tecnológicos, sociais, emocionais e cognitivas superiores como resultado da I4.0 (Akyazi *et al.*, 2020b). Entre suas tecnologias habilitadoras, a AM desponta como uma das mais promissoras, permitindo a produção customizada, descentralizada e sustentável. Formar engenheiros aptos a crescente demanda por habilidades digitais básicas, bem como habilidades tecnológicas avançadas (Akyazi *et al.*, 2020a) requer ambientes de aprendizagem, como a simulação que permitem a educação e treinamento, auxiliando na redução de custos e ciclos de desenvolvimento, reproduzindo a prática industrial (De Paula Ferreira; Armellini; De Santa-Eulalia, 2020).

### 2.3.2 Manufatura Aditiva ou Impressão 3D

A Manufatura Aditiva, também conhecida como Impressão 3D ou Impressão Tridimensional, evoluiu desde os anos 1980, deixando de ser apenas uma ferramenta de prototipagem rápida para se tornar um método de fabricação amplamente aplicado em diversas áreas (Zhou *et al.*, 2024).

A AM tornou-se uma inovação consolidada com inúmeras aplicações em variados segmentos, tais como agronegócio, setor médico, indústria de veículos, transporte ferroviário e indústria aeroespacial. Essa tecnologia se destaca por possibilitar a criação eficiente e customizada de componentes, particularmente os de sustentação, com mais versatilidade no design e potencial para criar geometrias complexas que seriam inviáveis por métodos tradicionais (Cannizzaro *et al.*, 2025; Haq *et al.*, 2024; Morella *et al.*, 2023). Adicionalmente, contribui para a sustentabilidade dos processos produtivos ao reduzir significativamente o desperdício de material, em virtude de sua natureza aditiva (Morella *et al.*, 2023).

Apesar de essa abordagem ter evoluído desde o início da década de 1980, inicialmente para criar protótipos; ela tem recebido grande ênfase na última década devido à integração industrial de tecnologias digitais e inteligentes da I4.0 (Alazzawi *et al.*, 2025; Bhat; Parvez, 2024; Faidallah *et al.*, 2025; Khosravani *et al.*, 2025). Hodiernamente, é utilizada para fabricar produtos de uso final e na personalização em massa, com processos de produção inovadores de alta precisão, baixo custo e tempos reduzidos de configuração da máquina.



2025; Bhat; Parvez, 2024; Faidallah *et al.*, 2025; Patel; Gohil, 2025). Essencialmente, o processo de AM possui três etapas principais: projeto do modelo, fatiamento do modelo e impressão. Com o passar dos anos, diversas técnicas de impressão por deposição de material foram desenvolvidas, cada uma com benefícios próprios, a depender do objeto a ser produzido.

Entre os principais processos, destacam-se: Deposição de Energia Direcionada (DED), Estereolitografia (SLT), Fusão em Leito de Pó a Laser (PBF-LB/M), Fusão por Feixe de Elétrons (EBM), Fusão por Feixe de Laser (LBM), Fusão Seletiva a Laser (SLM), Impressão por Luz Direta (DLP), Modelagem por Deposição Fundida (FDM), Polimerização de Dois Fótons (TPP), Sinterização Seletiva a Laser (SLS), entre outras (Gontad *et al.*, 2025; Taşdemir *et al.*, 2025; Ying *et al.*, 2025). Dentre essas, a técnica de Fabricação por Filamentos Fundidos (FFF) se destaca como uma das mais utilizadas, em razão do baixo custo dos equipamentos, da acessibilidade e da versatilidade de materiais.

Exemplos de produtos fabricados com AM incluem veículos aéreos não tripulados, bicos de combustível, turbinas a gás, engrenagens mecânicas, lâminas de turbina, parafusos e porcas, bem como implantes biomédicos, próteses dentárias, sensores eletrônicos, *stents* cardíacos e vasculares, entre outros (Alazzawi *et al.*, 2025; Charia *et al.*, 2025; Faidallah *et al.*, 2025). Vários estudos atestam as qualidades mecânicas superiores, atributos de superfície e produtividade otimizada de materiais confeccionados por técnicas de AM, quando comparados aos processos de fabricação convencionais.

Ensaio recentes indicam que as propriedades mecânicas, elétricas e térmicas, as características superficiais e as exatidões dimensionais das amostras obtidas por AM satisfazem os padrões requeridos para aplicação industrial (Rooney; Pitz; Pochiraju, 2025). Também se observa uma redução nos custos da AM em alguns processos e uma melhoria significativa na qualidade geral das peças (Taşdemir *et al.*, 2025).

Entretanto, a ampla implementação da AM ainda enfrenta dificuldades relacionadas ao custo, aos critérios ambientais rigorosos, às despesas operacionais e às limitações de matéria-prima. Entre as principais desvantagens destacam-se as falhas recorrentes em peças impressas, o que demanda investimentos contínuos em manutenção de equipamentos FFF, visando minimizar o risco de falhas críticas (Aswar

*et al.*, 2025; Rooney; Pitz; Pochiraju, 2025). O alto custo inicial de investimento em I3D também limita sua adoção em larga escala (Coelho *et al.*, 2025).

A despeito de seu potencial, a AM ainda apresenta baixa adoção em países em desenvolvimento. Enquanto estudos em nações desenvolvidas avançam na integração da AM no ensino, são escassas as investigações que abordam sua implementação em contextos menos favorecidos. Entre os principais entraves estão a ausência de impressoras 3D, a carência de formação docente, os elevados custos de insumos e equipamentos, a predominância do idioma inglês nos recursos disponíveis e a limitada familiaridade dos estudantes com a tecnologia. Esses fatores têm comprometido a inserção efetiva da AM nos processos educacionais desses países (To; Al Mahmud; Ranscombe, 2024).

Fokides e Lagopati (2024) mencionam existir disparidades no acesso à I3D, devido as barreiras financeiras e logísticas. E destaca que é essencial a adoção de iniciativas estratégicas para democratizar o acesso à I3D, garantindo que todos os alunos se beneficiem dessa ferramenta educacional.

O estudo de Assante, Cennamo e Placidi (2020) que analisa o uso da AM na Educação numa perspectiva europeia aponta que mesmo entre os países desenvolvidos os fatores que limitam a difusão das impressoras 3D na educação, o custo das impressoras 3D aparece em primeiro lugar, como o aspecto mais limitante, mesmo com a queda contínua dos preços e a disponibilidade de impressoras de baixo custo. Os outros dois principais aspectos limitantes são a falta de competências e de metodologias no uso da I3D na educação. Patel e Gohil (2025), por sua vez, destacam que ferramentas especializadas de projeto, análise e simulação devem nortear futuros estudos, de forma a aprimorar a aplicação da AM.

## **2.4 Referencial Teórico Metodológico**

### **2.4.1 Processo de Ensino Aprendizagem**

O Processo de Ensino Aprendizagem (PEA) surgiu na educação para unir o ato de ensinar e aprender, ganhando força a partir da segunda metade do século XX com as teorias construtivistas e sociointeracionistas. Autores como Piaget, Vygotsky e Freire influenciaram essa visão integrada, dinâmica e dialógica, onde professor e

aluno são interdependentes, com o professor mediando e o estudante sendo protagonista, tudo dentro de contextos sociais, históricos e culturais específicos (Rebouças; De Oliveira; Bezerra, 2024; Vasconcelos; Manzi, 2017).

Segundo Bond *et al.* (2020) e Voogt *et al.* (2015), o termo Processo de Ensino-Aprendizagem reflete a visão atual de que ensinar vai além da transmissão de conteúdo. Ele engloba estratégias que estimulam a construção ativa do conhecimento e o desenvolvimento de competências cognitivas e socioemocionais. Por isso, é um conceito fundamental em publicações científicas para entender a complexidade da educação na era digital e colaborativa.

A literatura atual destaca uma transição paradigmática: do modelo centrado no professor para abordagens pedagógicas centradas no estudante, que estimulam o protagonismo discente, a autonomia e a aprendizagem significativa (Goodwin, 2024; Otto *et al.*, 2024). Assim, estratégias de ensino que valorizam o “ensino para, do e pelo estudante” ampliam o escopo da formação, promovendo não apenas a aquisição de saberes técnicos, mas também o desenvolvimento de competências profissionais, sociais e emocionais (Hoidn, 2016; Lozano-Pena *et al.*, 2021).

A personalização da aprendizagem, adaptando-se aos ritmos e estilos individuais, é viabilizada por sistemas adaptativos e tecnologias educacionais avançadas (Bayly-Castañeda; Ramirez-Montoya, Morita-Alexander, 2024; Yao; González-Vélez, 2025). O foco na formação integral do estudante também ganha destaque. Pesquisas recentes apontam para a importância de desenvolver competências transversais como pensamento crítico, criatividade, comunicação, colaboração e resolução de problemas complexos (Binkley *et al.*, 201; Tang, 2020).

A integração de tecnologias digitais e de Inteligência Artificial representa um dos vetores mais potentes de inovação educacional. Ferramentas baseadas em IA possibilitam personalização avançada, feedback em tempo real e análise preditiva de desempenho, otimizando o tempo docente e promovendo intervenções pedagógicas mais eficazes (Contrino *et al.*, 2024; Ouyang *et al.*, 2023).

No entanto, essa integração requer atenção a desafios éticos, como privacidade de dados, vieses algorítmicos e equidade de acesso. A tecnologia deve ser entendida como uma aliada do professor, e não como substituta, sendo fundamental o fortalecimento da formação docente para o uso crítico e criativo desses recursos (Castañeda; Williamson, 2021; Zawacki-Richter *et al.*, 2019).

A evolução do PEA na contemporaneidade reflete a convergência entre MAA

s, inovação tecnológica e centralidade no estudante (Bayly-Castañeda; Ramirez-Montoya, Morita-Alexander, 2024; Bhardwaj *et al.*, 2025; Goodwin, 2024; Yao; González-Vélez, 2025).

Evidências empíricas demonstram que essas abordagens, quando bem planejadas e implementadas, promovem maior engajamento, melhor desempenho acadêmico e formação de profissionais mais preparados para os desafios do século. Para tanto, é necessário investir na formação docente, no suporte institucional e na revisão contínua dos currículos, integrando teoria e prática de forma contextualizada e ética XXI (Bond *et al.*, 2020; Castañeda; Williamson, 2021; Lozano-Pena *et al.*, 2021).

#### 2.4.2 Design Science Research

A metodologia Design Science Research teve origem nos Estados Unidos como uma abordagem estruturada para a condução de pesquisas aplicadas. Sua principal aplicação historicamente se deu nos domínios de Sistemas de Informação, Engenharia e Tecnologia. Mais recentemente, sua utilidade se expandiu para incluir o campo da Educação. A consolidação formal da abordagem DSR é amplamente atribuída ao trabalho fundamental de Alan Hevner e seus colaboradores (Gregor; Hevner, 2013; Hevner *et al.*, 2004).

Embora ideias sobre pesquisa baseada em construção já existissem anteriormente (desde a década de 1990), o DSR foi formalmente estruturado em 2004 com a publicação do artigo de Hevner, considerado o marco fundador da abordagem como disciplina metodológica (Goldkuhl; Karlsson, 2020).

A finalidade da metodologia DSR é: desenvolver artefatos inovadores (como modelos, métodos, frameworks, sistemas, algoritmos ou objetos educacionais) que solucionem problemas complexos do mundo real, unir rigor científico com relevância prática, integrando a criação de soluções com validação científica e conduzir pesquisas aplicadas que não apenas compreendam fenômenos, mas produzam intervenções concretas e avaliáveis (Muntean; Militaru, 2022; Vom Brocke; Maedche, 2019).

O objetivo era propor um modelo com sete diretrizes que orientam o desenvolvimento de artefatos e sua avaliação quanto à utilidade, qualidade e eficácia

(Nguyen *et al.*, 2024; Peffers *et al.*, 2007)

A transformação digital imposta pela I4.0 tem exigido abordagens educacionais inovadoras que integrem teoria, prática e tecnologia. Nesse cenário, o DSR emerge como uma metodologia robusta e cada vez mais consolidada para o desenvolvimento de soluções educacionais eficazes, especialmente no campo da educação tecnológica e da engenharia. A DSR combina a construção de artefatos com a produção de conhecimento científico, por meio de um ciclo iterativo de identificação de problemas, concepção de soluções, implementação, avaliação e refinamento contínuo (Gregor; Hevner, 2013; Hevner *et al.*, 2004; Peffers *et al.*, 2007).

Para Hjalmarson e Parsons (2021), Mckenney e Reeves (2025) e Tinoca *et al.* (2022), o diferencial da DSR está em sua capacidade de articular rigor teórico e relevância prática, o que a torna particularmente apropriada para o contexto educacional contemporâneo. É particularmente adequada para lidar com os rápidos avanços tecnológicos e os desafios educacionais, como a integração da Inteligência Artificial na Educação. Sua característica central é a capacidade de transformar problemas identificados em modelos práticos, focando intensamente no processo de design (Tusquellas *et al.*, 2025).

Na Educação Tecnológica, essa abordagem tem sido aplicada com o objetivo de desenvolver ferramentas pedagógicas como objetos de aprendizagem digitais, ambientes de laboratório virtual, simuladores, e frameworks instrucionais, sempre com base em necessidades reais do ensino-aprendizagem e com validação científica e pedagógica (Christiansen *et al.*, 2022; Hjalmarson; Parsons, 2021; Mckenney; Reeves, 2025; Tinoca *et al.*, 2022).

Gregor e Hevner (2013) descrevem três ciclos que compõem a estrutura da DSR: o ciclo de relevância, que alinha os requisitos do problema às necessidades do contexto; o ciclo de rigor, que sustenta o projeto com teorias e modelos existentes; e o ciclo de projeto, que orienta o desenvolvimento e a avaliação do artefato.

Essa estrutura metodológica tem se mostrado eficaz, por exemplo, na construção de soluções voltadas à formação de engenheiros aptos a lidar com tecnologias habilitadoras da I4.0, como AM, automação inteligente, IoT e análise de dados (Broo; Kaynak; Sait, 2022; Caratozzolo *et al.*, 2022; Chigbu; Ngwevu; Jojo, 2023; Christiansen *et al.*, 2022; Quintero; Maldonado, 2024).

A DSR também tem sido relevante na criação de metodologias pedagógicas inovadoras, como o uso da Aprendizagem Baseada em Projetos e da Sala de Aula

Invertida (Flipped Classroom) (Hew *et al.*, 2021), integradas a tecnologias emergentes como gêmeos digitais e simuladores industriais (Lin *et al.*, 2024; Silveira; Cardoso; Martins, 2025).

Além disso, a DSR tem sido usada no desenvolvimento de programas de capacitação docente e repositórios de recursos educacionais abertos (REA) (Nguyen *et al.*, 2024). Estudos como o de Haßler, Hennessy e Hofmann (2020), apontam que esses materiais facilitam a integração entre teoria e prática e ampliam o acesso a tecnologias de ponta em ambientes educacionais.

Apesar de seu potencial transformador, a DSR possui limitações no campo educacional, como a subutilização em programas de pós-graduação, a necessidade de maior disseminação de resultados para profissionais da prática e a limitação de replicabilidade de artefatos educacionais em diferentes contextos (Hjalmarson; Parsons, 2021; McKenney; Reeves, 2025; Tinoca *et al.*, 2022)

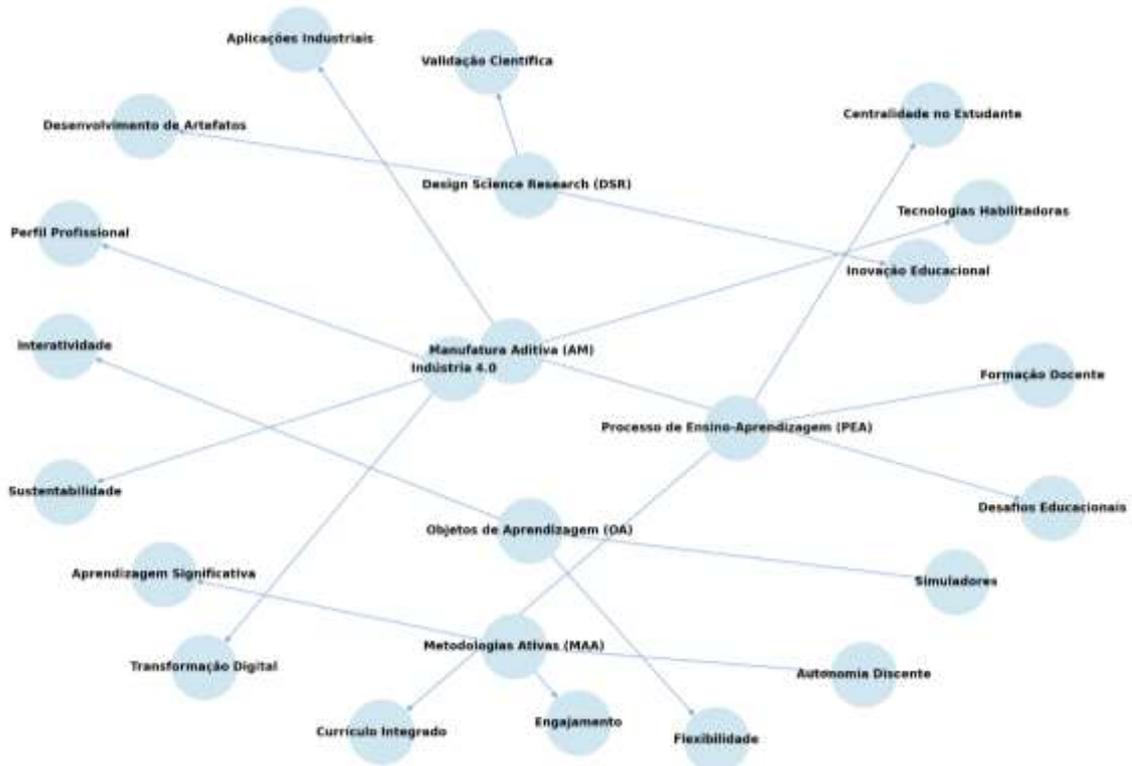
Futuros estudos devem priorizar o desenvolvimento de frameworks de avaliação robustos, a ampliação de colaborações interdisciplinares entre Engenharia e Educação, e a translação do conhecimento científico para aplicações institucionais concretas (Fink *et al.*, 2021; Mckenney; Reeves, 2025; Reynolds; Dacre, 2021).

Nesse sentido, a presente pesquisa adota a metodologia DSR como estratégia para desenvolver e validar um simulador digital (Objeto de Aprendizagem) de AM, por fornecem uma base abrangente para o desenvolvimento de modelos específicos para aplicações (Dolgopolovas; Dagiené; Jevsikova, 2020), com o objetivo de suprir lacunas pedagógicas decorrentes da insuficiência de infraestrutura física nos cursos de engenharia. Tal escolha metodológica reafirma o compromisso com a inovação educacional e com a formação de profissionais críticos, autônomos e tecnicamente preparados para os desafios da Indústria 4.0.

## **2.5 Integração entre os referenciais teóricos**

Os principais eixos teóricos da dissertação aqui levantados: Indústria 4.0, Manufatura Aditiva, Metodologias Ativas de Aprendizagem, Objetos de Aprendizagem, Processo de Ensino Aprendizagem e Design Science Research, evidenciam que esses elementos se inter-relacionam, compondo um ecossistema educacional inovador voltado à formação de engenheiro na era digital, conforme a Figura 3:

Figura 3 – Mapa Conceitual do Referencial Teórico



Fonte: Autor (2025).

O diagrama apresenta de forma organizada integrada a convergência de temas comuns os seis eixos centrais da dissertação (I4.0, AM, MAA, OA, PEA e DSR) com seus subtemas-chave.

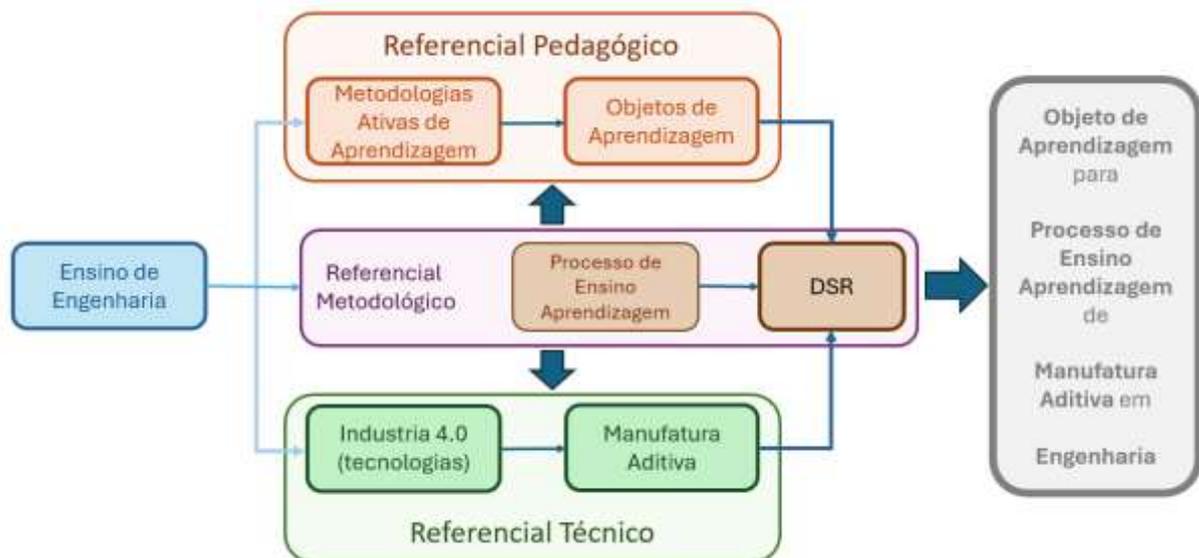
Os principais pontos em destaque são:

- A formação de engenheiros para a I4.0 exige abordagens educacionais inovadoras que articulem tecnologia, prática e pensamento crítico (Chong *et al.*, 2018). Nesse cenário, quatro eixos convergem para compor um ecossistema pedagógico alinhado às demandas contemporâneas: I4.0, AM, MAA e OA digitais (Bondin; Zammit, 2025; Chigbu; Ngwevu; Jojo, 2023; Chong *et al.*, 2018; Christiansen *et al.*, 2022)
- A I4.0, com suas tecnologias habilitadoras, como AM, IoT, inteligência artificial e realidade aumentada, demanda engenheiros capazes de atuar de forma integrada, autônoma e adaptável a ambientes produtivos complexos. A AM se destaca nesse contexto por representar uma quebra de paradigma nos processos de produção, exigindo dos futuros engenheiros competências técnicas e criativas específicas (Alazzawi *et al.*, 2025; Neuenfeldt Júnior *et al.*, 2024).

- A aplicação de MAAs é estratégica para desenvolver essas competências, uma vez que promove a aprendizagem centrada no aluno, por meio de projetos, resolução de problemas e experimentação prática (Alfieri; Mora; García-Rojas, 2025; Lovato; Michelotti; Da Silva Loreto, 2018).
- A falta de metodologias no uso da AM na educação, citada por Assante, Cennamo e Placidi (2020) e que ferramentas como simulação contribui para propagação da AM citada por Patel e Gohil (2025), dão foco aos Objetos de Aprendizagem citado por Conde *et al.* (2021), como simuladores e ambientes interativos, representam uma alternativa eficaz.

Na Figura 4 é descrito como todos esses conceitos alinhados e interligados contribuem para o processo de criação do Objeto de Aprendizagem para Processo de Ensino Aprendizagem de Manufatura Aditiva, e seu fluxo desenvolvimento:

Figura 4 – Fluxo de Desenvolvimento do AO para PEA de AM em Engenharia



Fonte: Autor (2025).

A incorporação da AM, tecnologia central da Indústria 4.0, demanda práticas pedagógicas mais dinâmicas no ensino de engenharia. Em função disso, o uso de MAAs, como Objetos de Aprendizagem, destaca-se como estratégia eficaz para desenvolver as competências exigidas na era digital (Motyl; Filippi, 2021).

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo utiliza uma estrutura composta por textos apresentados em formato de artigos, dispostos em uma sequência dividida em três etapas, sendo que cada uma delas está associada a um objetivo específico, conforme detalhado e representado na Figura 5 a seguir:

A primeira etapa do trabalho apresenta uma pesquisa de abordagem qualitativa e está estruturada no formato de um artigo de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que atende o Objetivo Específico 01, o qual realiza um levantamento na literatura acadêmica das principais Metodologias de Aprendizagem Ativa que já foram empregadas para o Processo de Ensino Aprendizagem de THI4, buscando, assim, identificar lacunas de pesquisa sobre o tema.

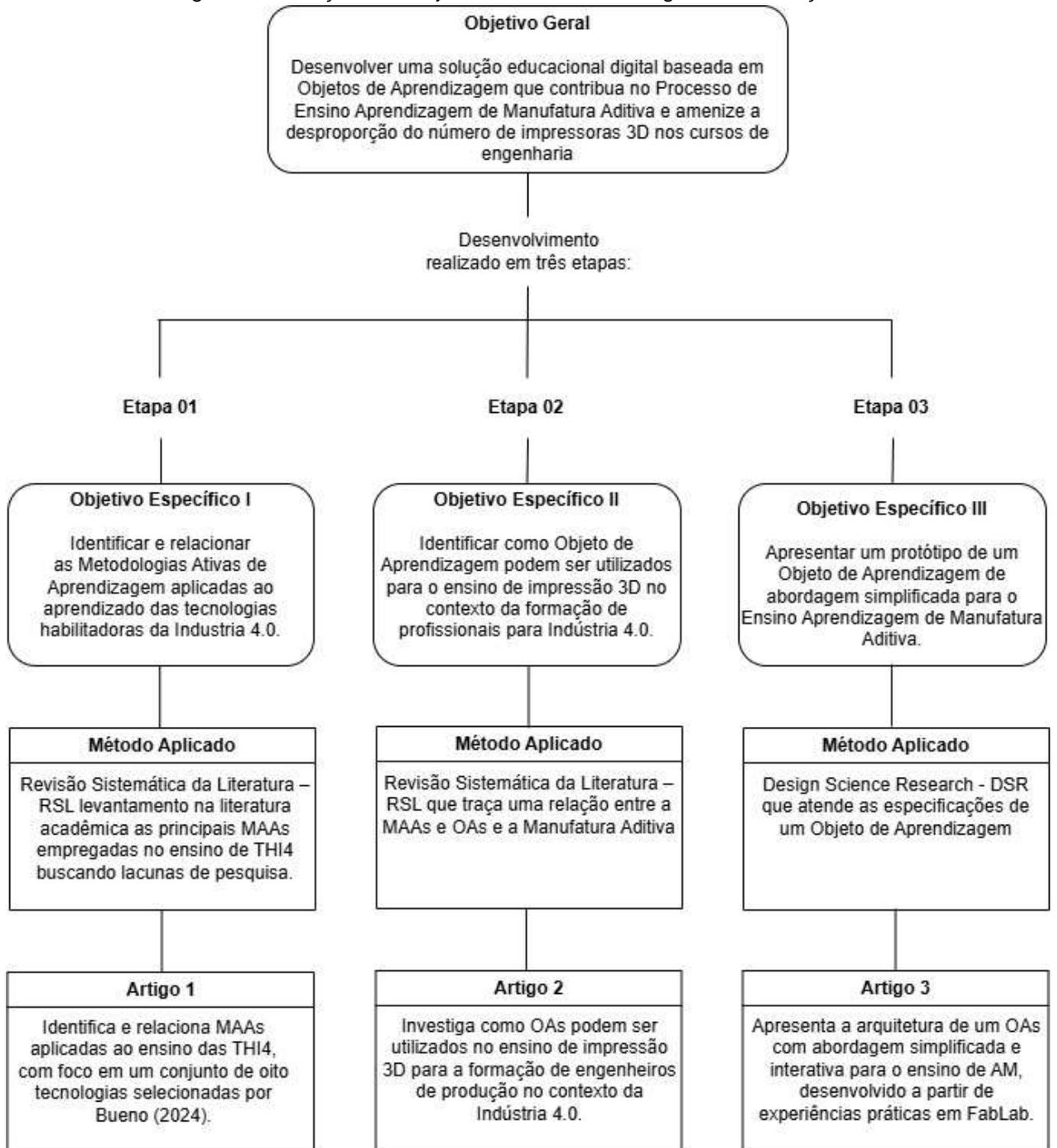
Para suprir o Objetivo Específico 02, elaborou-se um artigo de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que estabelece uma relação entre a Metodologia de Aprendizagem Ativa, os Objetos de Aprendizagem e a Tecnologia Habilitadora da Indústria 4.0: Manufatura Aditiva.

A Revisão Sistemática da Literatura é um processo científico claro, repetível e preciso, que envolve a busca, seleção e análise criteriosa de pesquisas relevantes. Seu objetivo é condensar o conhecimento existente para responder, de maneira embasada e rigorosa, a uma questão de pesquisa previamente definida (Scientific, 2024; Thwe; Kalman, 2024).

Na terceira e última etapa, embasado pelos conhecimentos apurados nas etapas anteriores, desenvolveu-se um artefato web utilizando a metodologia DSR, que atende às especificações de um Objeto de Aprendizagem.

A abordagem DSR é uma metodologia de pesquisa iterativa que combina design, criação e avaliação para desenvolver e aprimorar artefatos, fornecendo tanto conhecimento teórico quanto soluções práticas. Sua continuidade permite um refinamento baseado em evidências empíricas, atestando aplicabilidade e replicabilidade em contextos diversos (López-Villanueva; Palau; Santiago, 2025; Enang; Omeihe, 2025).

Figura 5 – Relação dos Objetivos com a Metodologia da dissertação



Fonte: Autor (2025).

Dessa forma, os estudos que se basearam em metodologias de Revisão Sistemática da Literatura e *Design Science Research*, e que resultaram no desenvolvimento de um Objeto de Aprendizagem, serviram para concluir a dissertação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta pesquisa de mestrado foram estruturados em três estudos complementares elaborados sob a forma de artigos científicos, cuja versão completa estão em Anexo. Nesta seção são apresentados como resumo expandido:

### 4.1 Metodologias Ativas de Aprendizagem no processo de Ensino Aprendizagem de Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0

**Autores:** Davi de Albuquerque Gomes, Joel Porto Alves, Leandro Cigano de Souza Thomaz, Marcia Macário dos Santos e Rodrigo Franco Gonçalves

**Palavras-chave:** Metodologias Ativas de Aprendizagem, Indústria 4.0, Tecnologias da Informação e Comunicação

**Posição:** Artigo 1

**Quantidade de páginas:** 22 páginas

**Quantidade de referências:** 93 referências bibliográficas.

**Data da Submissão:** 18/03/2025

**Periódico da submissão:** Revista AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento

**Detalhes da Revista/Evento:**

**Qualis/CAPES (2020):** B2 – Ciência da Informação

**Editora:** Universidade Federal do Paraná (UFPR)

**Área:** Ciência da Informação, Inovação, Tecnologia e Educação

**Idioma de publicação:** Português e Inglês

**Periodicidade:** Semestral

**Política de acesso:** Acesso aberto

**Website:** <https://revistas.ufpr.br/atoz>

**Identificação e localização:** Universidade Federal do Paraná – UFPR (Departamento de Ciência e Gestão da Informação)

**DOI:**

**ISSN do Periódico:** 2447-9802 (online)

**Metodologia:** Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

**Resumo expandido:**

O estudo realiza uma análise abrangente do uso das Metodologias Ativas de Aprendizagem no ensino das Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0, com ênfase na Manufatura Aditiva. A rápida transformação digital, impulsionada por tecnologias como Big Data, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Realidade Aumentada, Robótica Avançada e a própria AM, exige novas abordagens pedagógicas que promovam autonomia, protagonismo e habilidades práticas nos estudantes. Diante desse cenário, as MAA emergem como estratégias pedagógicas alinhadas ao construtivismo, capazes de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais dinâmico, participativo e centrado no estudante.

A pesquisa foi conduzida por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura nas bases Scopus e Web of Science, complementada pela técnica de *snowballing*, identificando 52 artigos relevantes. Os dados coletados revelaram que metodologias como Sala de Aula Invertida, Gamificação, Aprendizagem Baseada em Projetos e em Problemas são amplamente aplicadas no ensino das THI4. Especificamente em relação à MA, observou-se a utilização recorrente dessas metodologias, embora ainda com escassa padronização na aplicação e poucas definições claras do conceito de MAA entre os autores. Apenas 12 dos 52 estudos analisados apresentaram definições explícitas do termo, e menos de 10% deles fundamentaram-se em literatura teórica consolidada.

**Principais Resultados:**

O estudo identificou uma escassez de estudos da tecnologia Robótica Avançada, e uma limitação de estudos práticos que relacionam MAA com as TICs voltadas para indústria 4.0. Na Tabela 1 são apresentadas as MAA que foram catalogadas em função de cada THI4:

Tabela 1 – Metodologias Ativas de Aprendizagem em relação às Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0

Active Methodologies	Tecnologias								Total
	<i>Big Data</i>	<i>Cloud Computing</i>	<i>Artificial Intelligence</i>	<i>Internet of Things</i>	<i>Additive Manufacturing</i>	<i>Augmented Reality</i>	<i>Virtual Reality</i>	<i>Advanced Robotics</i>	
<b>Total</b>	12	6	13	14	9	10	5	9	
Aprendizagem Adaptativa			1						1
Aprendizagem Autodirigida						1	1		2
Aprendizagem Baseada em Jogos (Gamificação)	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Aprendizagem Baseada em Problemas	1		1	1	1	1	1	1	6
Aprendizagem Baseada em Casos			1						1
Aprendizagem Baseada em Desafios	1	1	1	1					4
Aprendizagem Baseada em Pesquisa	1			1	1			1	4
Aprendizagem Baseada em Projetos	1		1	1	1	1		1	6
Aprendizagem Colaborativa			1	1					2
Aprendizagem Cooperativa						1	1		2
Aprendizagem em Serviço			1	1					2
Atividade de Aprendizagem Contextual				1					2
Avaliação por Pares	1			1	1			1	4
Conceber, Projetar, Implementar e Operar	1		1	1					3
Debate de Teses			1						1
<i>Design Thinking</i>	1		1	1	1			1	5
Instrução entre Pares	1			1	1			1	4
Jogos de Empresa Baseado em Simulação		1				1			2
Mapas Mentais	1	1							2
Método de Caso	1			1	1			1	4
Microaprendizagem			1						1
<i>MicroFlip Teaching</i>		1							1
Objetos de Aprendizagem						1			1
Objeto de Aprendizagem Aumentado						1			1
Sala de Aula Aprendizagem Invertida	1	1	1	1	1	1	1	1	8
<i>Storytelling</i>						1			1

Fonte: Autor (2025).

As metodologias mais frequentes identificadas no ensino das Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 foram: Sala de Aula Invertida, Gamificação, Aprendizagem Baseada em Projetos e Aprendizagem Baseada em Problemas.

Há ausência de consenso conceitual sobre o que são Metodologias Ativas de Aprendizagem, com apenas 12 dos 52 artigos analisados apresentando definições explícitas. Com base na análise das referências utilizadas no artigo, observou-se que ao menos 46 dos autores principais dos artigos são originários de países latino-americanos ou ibéricos (como Brasil, México, Colômbia, Peru, Argentina, República Dominicana, Portugal e Espanha) indicando uma preocupação maior sobre o tema nesses países.

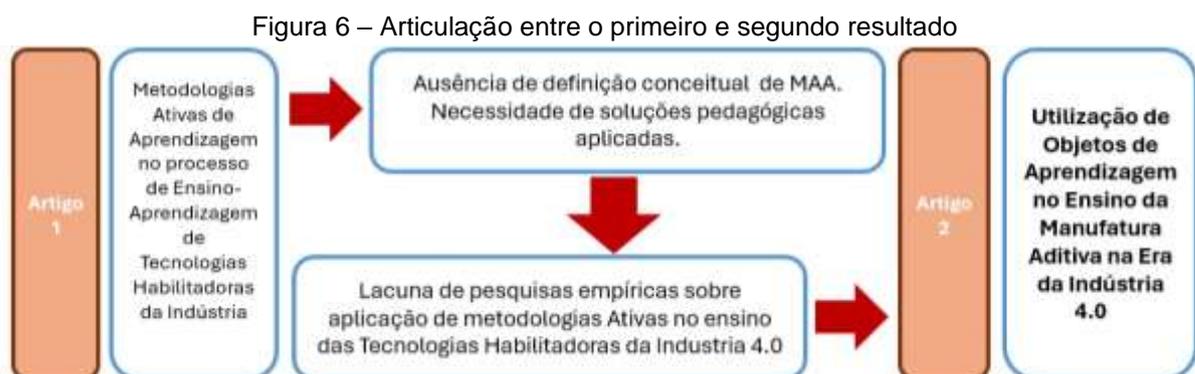
Foi constatada a escassez de estudos aplicados sobre o uso de MAA especificamente em Robótica Avançada e Manufatura Aditiva.

### Discursão dos resultados do artigo:

Esses resultados constituem um *input* estruturante para o desenvolvimento de um estudo específico, ao revelarem uma lacuna significativa de pesquisas empíricas que tratem da aplicação concreta de metodologias ativas no ensino das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Dentre essas tecnologias, a Manufatura Aditiva se destaca não apenas por sua importância estratégica, mas também pela baixa frequência de estudos que combinem práticas ativas e recursos digitais como os Objetos de Aprendizagem. Essa constatação fundamenta a escolha metodológica e temática de um segundo estudo que, por sua vez, supri diretamente a carência identificada nesse mapeamento.

O primeiro estudo oferece um mapeamento quantitativo e qualitativo das metodologias ativas associadas a cada tecnologia habilitadora, e demonstra que a Sala de Aula Invertida e a Gamificação são estratégias amplamente referenciadas, mas ainda pouco operacionalizadas em contextos práticos, sobretudo no ensino técnico de engenharia. A ausência de definição conceitual clara sobre o que constitui uma Metodologia Ativa — observada em mais da metade dos estudos analisados — e a fragmentação de abordagens indicam uma necessidade de desenvolver soluções pedagógicas aplicadas.

A partir desse diagnóstico, o segundo estudo utiliza como critério de pesquisa o recorte da Manufatura Aditiva e mobiliza os Objetos de Aprendizagem como ferramenta instrucional com potencial para integrar práticas de ensino ativo, alinhadas às demandas de formação na era da Indústria 4.0, como descrito na Figura 6:



Fonte: Autor (2025).

Portanto, a escassez de estudos práticos sistematizados apontada na primeira pesquisa justifica a proposta investigativa no segundo, que passa a preencher essa lacuna por meio da análise de literatura voltada à aplicação de Objetos de Aprendizagem. Essa sequência representa uma progressão lógica entre mapeamento teórico-conceitual e proposição aplicada, essencial à construção de novos referenciais para o ensino de tecnologias emergentes na formação em Engenharia.

#### **4.2 Utilização de Objetos de Aprendizagem no ensino da Manufatura Aditiva na era da Indústria 4.0**

**Autores:** Davi de Albuquerque Gomes, Joel Porto Alves, Leandro Cigano de Souza Thomas, Marcos Donizete de Sousa e Rodrigo Franco Gonçalves

**Palavras-chave:** Objetos de Aprendizagem, Manufatura Aditiva, Engenharia de Produção, Indústria 4.0

**Posição:** Artigo 2

**Quantidade de páginas:** 16 páginas

**Quantidade de referências:** 27 referências

**Evento de submissão:** XXXI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMPEP 2024)

**Data da Publicação:** 17/02/2025

##### **Detalhes do Evento:**

**Nome completo:** XXXI Simpósio de Engenharia de Produção

**Tema:** Inteligência Artificial na Gestão de Operações: Limitações e Possibilidades

**Local:** Bauru – SP – Brasil

**Instituição organizadora:** Universidade Estadual Paulista – UNESP

**Data do evento:** 11 a 14 de novembro de 2024

**Website:** <https://simpep.feb.unesp.br>

**Identificação e localização:** Apresentado na trilha temática:

**Área Temática:** 10 – Educação em Engenharia de Produção

**Subárea:** 10.1 – Estudo da Formação do Engenheiro de Produção

**Data da Publicação:** 17/02/2025

**DOI:** [https://doi.org/10.29327/xxxi\\_simpep.891643](https://doi.org/10.29327/xxxi_simpep.891643)

**ISSN do Evento:** 1809-7189

**Metodologia:** Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

**Resumo expandido:**

A Indústria 4.0 vem promovendo profundas transformações nos processos produtivos, impulsionada por tecnologias disruptivas como a Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Big Data e MA. Nesse cenário, a formação de engenheiros de produção requer abordagens pedagógicas alinhadas às novas demandas do setor industrial, capazes de integrar teoria, prática e tecnologias digitais. O presente artigo tem como objetivo analisar como os OAs têm sido utilizados para apoiar o ensino da impressão 3D, com foco no desenvolvimento de competências práticas e cognitivas em cursos de engenharia.

A metodologia adotada consistiu em uma Revisão Sistemática da Literatura combinada à análise bibliométrica, com base em estudos indexados nas bases Scopus e Web of Science. A análise foi conduzida com o apoio do software VOSviewer e resultou na seleção de 11 artigos científicos relevantes que exploram a relação entre OAs, impressão 3D e ensino na era da Indústria 4.0. Os resultados indicam que os OAs são amplamente reconhecidos como ferramentas eficazes para a aprendizagem ativa, principalmente por sua capacidade de promover a interatividade, a experimentação e o protagonismo discente.

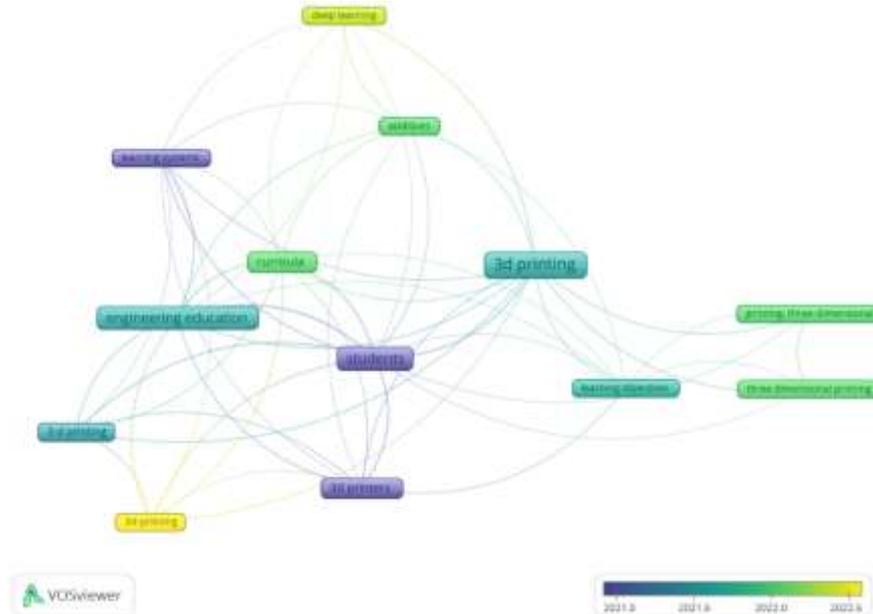
Dentre os artigos analisados, destacam-se experiências de uso da impressão 3D em diversos contextos educacionais, incluindo bioquímica, neuroanatomia, arte, educação para pessoas com deficiência visual e engenharia. Apesar das evidências positivas, o estudo aponta uma lacuna na literatura em relação a estudos de caso aplicados diretamente ao ensino da Manufatura Aditiva em cursos de Engenharia de Produção. A análise bibliométrica revelou ainda a predominância dos termos “*3D Printing*”, “*Students*” e “*Learning Objectives*”, indicando um crescente interesse pela integração entre tecnologias digitais e estratégias pedagógicas inovadoras.

**Principais Resultados:**

Através de uma Revisão Sistemática da Literatura e de uma Análise

Bibliométrica com o software VOSviewer, foram identificados 11 artigos relevantes que tratam da relação entre impressão 3D, Indústria 4.0 e Objetos de Aprendizagem, conforme Figura 7:

Figura 7 – Representação de temas em torno objetos de aprendizagem e impressão 3D



Fonte: Autor (2024).

Os Objetos de Aprendizagem revelaram-se potencial significativo para melhorar o ensino da Manufatura Aditiva, principalmente por meio da interatividade, reutilização e flexibilidade no processo educacional.

Evidenciou-se uma lacuna na literatura científica no que tange a estudos de caso e experiências práticas bem documentadas sobre o uso de OAs na MA.

A pesquisa aponta para a necessidade de desenvolver estudos empíricos sobre a implementação de OAs no ensino da impressão 3D em cursos de Engenharia de Produção, visando melhorar a qualidade da formação na era da Indústria 4.0.

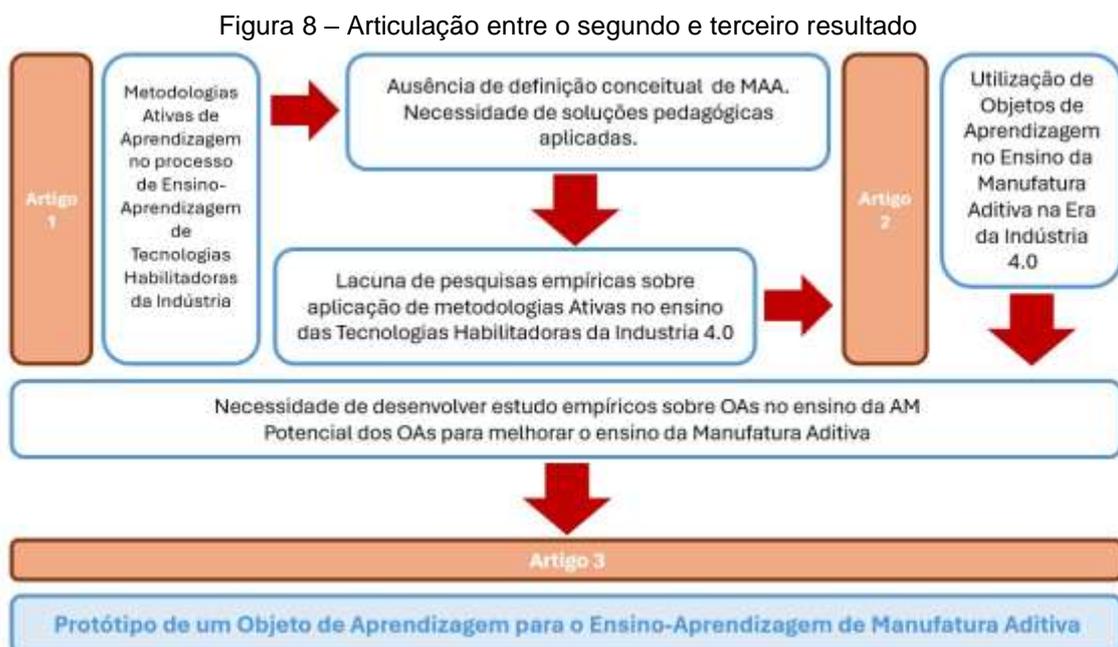
### **Discursão dos resultados do artigo:**

Os resultados do artigo “Utilização de Objetos de Aprendizagem no Ensino da Manufatura Aditiva na Era da Indústria 4.0” constituem insumo fundamental para a concepção e estruturação do protótipo apresentado no artigo subsequente. A partir de uma revisão sistemática da literatura, o primeiro estudo evidencia o potencial dos OAs como instrumentos viáveis para o ensino de tecnologias habilitadoras, destacando-se a AM como campo promissor, porém ainda pouco explorado no contexto de

metodologias ativas e recursos digitais interativos.

Essa constatação dialoga diretamente com a situação-problema delineada no projeto de pesquisa: a desproporção entre o número de estudantes e a disponibilidade de impressoras 3D nas instituições de ensino superior. Esse segundo estudo, toma os achados do primeiro estudo como base para o desenvolvimento de um protótipo de Objeto de Aprendizagem digital com estrutura modular, acessível por navegador web, e que simula as principais etapas do processo de manufatura aditiva — desde a concepção do projeto até o pós-processamento da impressão 3D. A construção do protótipo é orientada pela metodologia Design Science Research, justamente por permitir transformar os achados do primeiro artigo em um artefato educacional funcional e mensurável.

Além disso, os critérios técnicos e pedagógicos identificados na literatura — tais como reusabilidade, interatividade, autonomia e cognição — são incorporados no design do OA, evidenciando como o segundo artigo aprofunda e operacionaliza os resultados analíticos do primeiro. A partir disso, o desenvolvimento do protótipo contribui diretamente para mitigar a limitação de acesso a equipamentos físicos, oferecendo aos estudantes ambientes digitais de aprendizagem que simulam práticas laboratoriais essenciais à formação em Engenharia, de acordo com a Figura 8:



Fonte: Autor (2025).

Portanto, a articulação entre os dois artigos não se dá apenas por continuidade

temática, mas por uma sequência metodológica estruturada: o primeiro estudo identifica o estado da arte e as lacunas existentes; o segundo propõe uma resposta concreta à problemática educacional identificada, validando o papel dos Objetos de Aprendizagem como ferramentas para democratização do acesso ao ensino de tecnologias emergentes no ensino superior.

#### **4.3 Protótipo de um Objeto de Aprendizagem para ensino-aprendizagem de Manufatura Aditiva**

**Autores:** Davi de Albuquerque Gomes, Thomaz Henrique Viaro Bridi, Leandro Cigano de Souza Thomas, Marcia Macário dos Santos e Rodrigo Franco Gonçalves

**Palavras-chave:** Objetos de Aprendizagem, Manufatura Aditiva, Design Science Research, Engenharia de Produção, Ensino Tecnológico

**Posição:** Artigo 3

**Quantidade de páginas:** 22 páginas

**Quantidade de referências:** 39 referências

**Revista/Evento de submissão:** XLV ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 2025

**Data da Submissão:** 12/05/2025

##### **Detalhes do Evento:**

**Nome completo:** XLV Encontro Nacional de Engenharia de Produção

**Tema:** Produção inteligente para um futuro renovável

**Local:** Natal, Rio Grande do Norte – Brasil

**Instituição organizadora:** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO

**Data do evento:** 14 a 17 de outubro de 2025

**Website:** <https://www.abepro.org.br/enegap/>

**Identificação e localização:** Apresentado na trilha temática:

**Área Temática:** 10 – Educação em Engenharia de Produção

**Subárea:** 10.1 – Estudo da Formação do Engenheiro de Produção

**DOI:**

**ISSN do Evento:** 2176-4301

**Metodologia:** Design Science Research (DSR)

**Resumo expandido:**

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um protótipo de Objeto de Aprendizagem para o ensino-aprendizagem de Manufatura Aditiva, concebido a partir da metodologia Design Science Research. Diante da crescente demanda por formação profissional alinhada às exigências da Indústria 4.0, e considerando a lacuna de estudos aplicados que integram metodologias ativas com tecnologias habilitadoras como a impressão 3D, o estudo propõe uma solução educacional interativa, de baixo custo e de fácil acesso.

A fundamentação teórica aborda o conceito de Objetos de Aprendizagem como unidades modulares reutilizáveis, que combinam conteúdos, atividades e avaliações em um ambiente digital, e discute os avanços da Manufatura Aditiva como tecnologia estratégica para inovação industrial. A metodologia DSR estrutura o processo de desenvolvimento do OA em seis etapas, desde a identificação do problema até a construção e avaliação do artefato, assegurando rigor científico e aplicabilidade prática.

O protótipo desenvolvido consiste em um simulador web que orienta o estudante por meio de uma sequência didática composta por 10 etapas, desde a definição do projeto até o pós-processamento da impressão 3D. O OA incorpora características técnicas como acessibilidade, interoperabilidade, portabilidade e durabilidade, e características pedagógicas como interatividade, autonomia, cognição e cooperação. Representações visuais da interface e das funcionalidades do OA reforçam seu caráter exploratório e interativo, promovendo uma aprendizagem ativa e significativa.

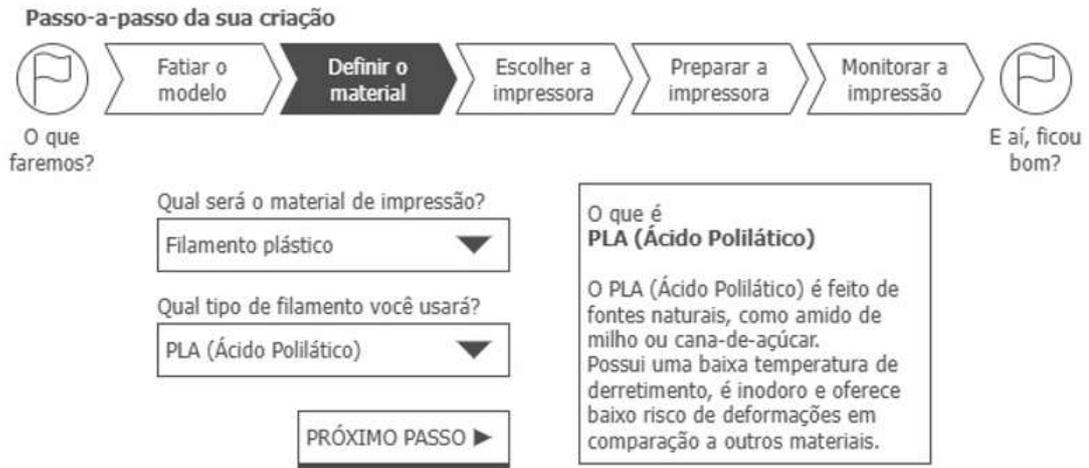
**Principais Resultados:**

Apresentação de um protótipo de AO baseado em simulação web voltado ao ensino da Manufatura Aditiva.

O protótipo incorpora uma sequência didática com 10 etapas, abordando desde a concepção de projetos 3D até o pós-processamento de peças impressas.

Desenvolvimento estruturado a partir da metodologia DSR, que guiou a criação do artefato educacional, cujo a representação visual é exibida na Figura 9:

Figura 9 – Representação Visual do Objetos de Aprendizagem 1

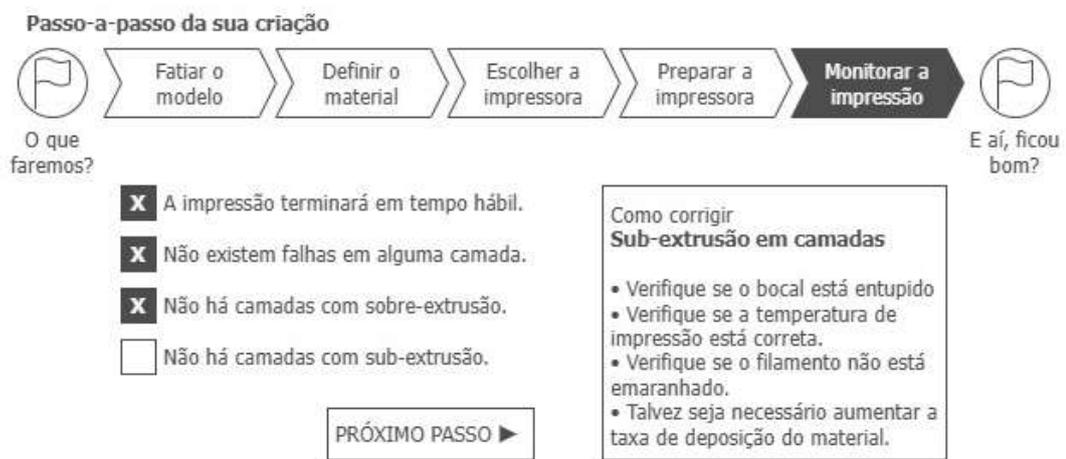


Fonte: Autor (2025).

O OA proposto contempla características técnicas (acessibilidade, interoperabilidade, durabilidade, reusabilidade e portabilidade) e características pedagógicas (interatividade, autonomia, cooperação, cognição e afetividade).

Foram elaboradas representações visuais da interface do simulador, com foco em seleção de materiais e parâmetros de impressão, promovendo aprendizagem exploratória e significativa, conforme Figura 10:

Figura 10 – Representação Visual do Objetos de Aprendizagem 2



Fonte: Autor (2025).

O artigo conclui que o OA tem potencial para contribuir com a formação técnica e cognitiva de estudantes, sendo uma ferramenta eficaz, acessível e compatível com os princípios da Indústria 4.0.

#### **4.4 Integração e Articulação dos Resultados**

Cada um dos artigos aborda uma etapa progressiva da investigação e contribui, de forma articulada, para o desenvolvimento de um Objeto de Aprendizagem voltado ao ensino-aprendizagem da Manufatura Aditiva no contexto da Indústria 4.0. Essa trajetória investigativa emerge da constatação empírica da desproporção entre a quantidade de estudantes e a disponibilidade de impressoras 3D nas instituições de ensino superior, um fator que limita significativamente o acesso à aprendizagem prática e ao desenvolvimento de competências técnicas nos cursos de engenharia.

O primeiro artigo, teve como objetivo mapear o uso das Metodologias Ativas de Aprendizagem aplicadas ao ensino das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Os resultados revelaram uma lacuna significativa na literatura científica, especialmente no que diz respeito à aplicação de estratégias ativas no ensino de tecnologias como a Manufatura Aditiva e a Robótica Avançada. Além disso, observou-se que muitos estudos carecem de fundamentação teórica consistente sobre o conceito de MAA. Essa escassez teórico-metodológica orientou os passos seguintes da pesquisa, indicando a necessidade de aprofundar a investigação sobre abordagens pedagógicas que incorporassem recursos digitais como alternativa ao ensino prático.

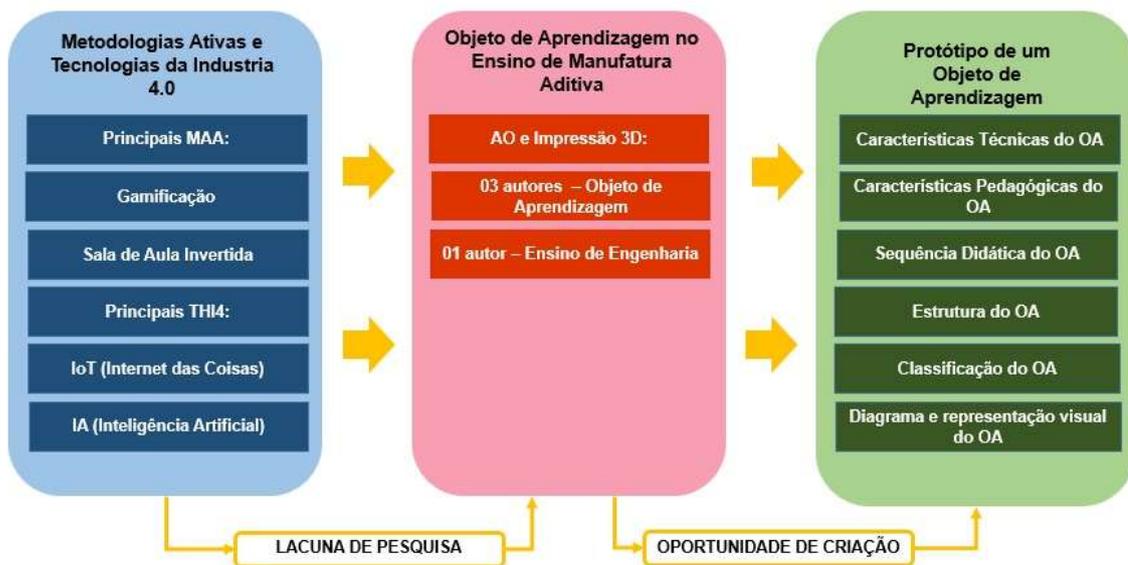
Dando continuidade à linha investigativa, o segundo artigo, concentrou-se em compreender como os Objetos de Aprendizagem têm sido empregados no apoio ao ensino da impressão 3D. Através de uma Revisão Sistemática da Literatura e análise bibliométrica, constatou-se que, embora haja reconhecido potencial dos OAs na promoção da aprendizagem ativa, faltam estudos empíricos aplicados especificamente à Manufatura Aditiva no contexto da engenharia. Essa constatação reforçou o diagnóstico inicial do problema, ampliando a compreensão sobre as limitações estruturais e pedagógicas enfrentadas no ensino da MA, especialmente em ambientes com escassez de recursos físicos.

A partir dessas evidências, o terceiro artigo, apresenta o desenvolvimento de uma solução digital concreta: um protótipo de OA configurado como simulador *web*. O artigo utiliza a metodologia DSR para orientar a concepção, estruturação e

validação do artefato educacional. O protótipo foi elaborado com base em uma sequência didática estruturada e incorpora princípios pedagógicos e técnicos que visam mitigar os impactos da escassez de impressoras 3D, oferecendo uma alternativa acessível, interativa e pedagógica para o ensino de MA em cursos de engenharia.

A Figura 11 apresenta o Fluxo de Processo que sintetiza a trajetória investigativa da dissertação, que parte da identificação da escassez de impressoras 3D no ensino de engenharia, avança por estudos teóricos e aplicados sobre metodologias ativas e objetos de aprendizagem, e culmina no desenvolvimento de um simulador digital como solução pedagógica inovadora para o ensino de Manufatura Aditiva.

Figura 11 – Fluxo de Processo de Integração e Articulação dos Resultados



Fonte: Autor (2025).

Como resultado, os três artigos, embora autônomos em suas abordagens, se complementam metodologicamente e conceitualmente, estabelecendo uma relação de continuidade que pode ser descrita como um ciclo composto pelas etapas “**mapear** → **analisar** → **aplicar**”, articulando teoria, diagnóstico e prática na integração das metodologias ativas, dos objetos de aprendizagem e da manufatura aditiva no contexto da Indústria 4.0.

Na etapa **mapear**, o primeiro artigo, Metodologias Ativas de Aprendizagem no processo de Ensino-Aprendizagem de Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0,

realiza um levantamento abrangente das metodologias ativas utilizadas no ensino das principais tecnologias habilitadoras, incluindo a manufatura aditiva.

Na fase **analisar**, o segundo artigo, Utilização de Objetos de Aprendizagem no Ensino da Manufatura Aditiva na era da Indústria 4.0, aprofunda o estudo ao investigar especificamente como os objetos de aprendizagem têm sido empregados no ensino de impressão 3D.

Por fim, na etapa **aplicar**, o terceiro artigo, Protótipo de um Objeto de Aprendizagem para Ensino-Aprendizagem de Manufatura Aditiva, concretiza as duas fases anteriores ao propor e detalhar o desenvolvimento de um protótipo de OA. Esse encadeamento é representado na Figura 12 a seguir:

Figura 12 – Ciclo de Integração dos Resultados



Fonte: Autor (2025).

Assim, os três trabalhos se complementam formando um ciclo coerente: o primeiro identifica e organiza o repertório metodológico (mapear), o segundo direciona a análise para um recurso específico no contexto da manufatura aditiva (analisar), e o terceiro transforma o conhecimento teórico e diagnóstico em um produto concreto e aplicável (aplicar).

## 5 CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como objetivo principal o desenvolvimento de um Objeto de Aprendizagem digital voltado ao processo de ensino-aprendizagem de Manufatura Aditiva nos cursos de engenharia, como estratégia para mitigar a desproporção entre o número de estudantes e a disponibilidade de impressoras 3D no ensino superior brasileiro. A investigação foi conduzida a partir da metodologia Design Science Research, que permitiu abordar de forma aplicada um problema educacional concreto, por meio de ciclos iterativos de pesquisa, análise e construção de artefato.

O trabalho resultou em três artigos científicos, os quais constituem os principais produtos da pesquisa e permitiram alcançar os objetivos específicos. O primeiro artigo identificou lacunas empíricas significativas sobre a aplicação de Metodologias Ativas de Aprendizagem no ensino das Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0, com destaque para a escassez de estudos práticos e soluções digitais aplicáveis. O segundo artigo sistematizou as experiências existentes com Objetos de Aprendizagem no ensino da Manufatura Aditiva, revelando seu potencial de atuação como tecnologia educativa estratégica, principalmente em contextos com limitação de infraestrutura laboratorial. Por fim, o terceiro artigo apresentou o protótipo funcional de um OA baseado em simulação web, demonstrando a viabilidade técnica da proposta e seu alinhamento com os objetivos da pesquisa.

Essa solução proposta oferece uma alternativa potencialmente viável e escalável para atenuar o problema da escassez de impressoras 3D físicas nas instituições de ensino, conforme cenário descrito no contexto desta dissertação. Com isso, é possível oferecer vivências práticas e técnicas sem a necessidade imediata de laboratórios físicos, ampliando o acesso ao conhecimento mesmo em contextos com infraestrutura limitada.

A questão-problema — "De que forma a adoção de soluções digitais, como Objetos de Aprendizagem, pode mitigar os impactos da desproporção entre o número de estudantes e a disponibilidade de impressoras 3D nos cursos de engenharia?" — foi atendida por meio de três resultados principais: Mapeamento de metodologias ativas aplicáveis ao ensino de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 (Artigo 1); Revisão sistemática sobre o uso de OAs no ensino de AM (Artigo 2); Desenvolvimento

de um protótipo funcional de OA digital baseado em simulação web para ensino de Manufatura Aditiva (Artigo 3).

Esses resultados mostram que o OA pode ser usado como recurso complementar ou substitutivo à prática física, oferecendo experiências interativas, seguras e acessíveis, mesmo na ausência de equipamentos reais.

O uso de Objetos de Aprendizagem contribuirá para o Processo de Ensino-Aprendizagem e no desenvolvimento de habilidades práticas ao: Estimular o protagonismo estudantil, permitindo que o aluno aprenda de forma autônoma, por meio de simulações realistas; Integrar teoria e prática, mesmo sem os recursos físicos; Permitir a visualização e experimentação de processos complexos da Manufatura Aditiva; Oferecer acessibilidade, reusabilidade e personalização da aprendizagem, de acordo com o ritmo e estilo de cada aluno.

Além disso, favorecem uma aprendizagem ativa e significativa, base da formação em Engenharia na era da Indústria 4.0.

As competências práticas podem ser desenvolvidas por meio do OA digital proposto permitirá a prática e desenvolvimento de diversas competências, entre elas: Domínio técnico de processos de AM, como fatiamento, escolha de parâmetros, identificação de falhas; Pensamento crítico e resolução de problemas técnicos simulando situações reais; Tomada de decisão baseada em análise de variáveis de processo; Raciocínio sistêmico sobre etapas da cadeia produtiva da AM; Autonomia e autogestão na aprendizagem técnica.

Essas competências são alinhadas às exigências da Indústria 4.0 e aos ODS da ONU (especialmente ODS 4 e 9).

Os requisitos técnicos encontrados para o desenvolvimento de simuladores digitais nas universidades, são: Equipe multidisciplinar (engenharia, design instrucional, TI); Conhecimento em programação web (JavaScript, Python, etc.); Infraestrutura de hospedagem e acesso remoto (LMS, servidores); Metadados educacionais e interoperabilidade com sistemas de gestão de aprendizagem (LMS); Interface amigável e responsiva.

Avaliação de impacto do OA no desempenho dos alunos, exigindo pesquisa empírica futura. Esses resultados podem proporcionar benefícios significativos, como contribuir para o avanço do conhecimento científico ao integrar os campos da Engenharia de Produção, Educação Tecnológica e Transformação Digital, propondo um ecossistema educacional centrado na aprendizagem ativa, no uso de simuladores

digitais e na personalização do ensino por meio de tecnologias acessíveis e escaláveis. Do ponto de vista prático, propõe uma solução viável para mitigar a escassez de impressoras 3D nas instituições de ensino, por meio do desenvolvimento de um Objeto de Aprendizagem digital baseado em simulação.

Essa inovação tecnológica amplia o acesso ao aprendizado técnico, mesmo em contextos com infraestrutura limitada. Além disso, a proposta alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, promovendo uma formação mais inclusiva e contribuindo, de forma indireta, para a melhoria da qualidade de vida ao preparar engenheiros mais qualificados, críticos e aptos a atuar em ambientes industriais inovadores e sustentáveis.

Entre as limitações do estudo, destaca-se a ausência de testes empíricos com turmas de estudantes, o que impediu a avaliação direta da eficácia pedagógica do protótipo. A validação futura por meio de estudos de caso com aplicação prática em cursos de engenharia será essencial para aferir seu impacto real no processo formativo dos estudantes. Como direções para pesquisas futuras, recomenda-se: A implementação do protótipo em ambientes reais de ensino e sua avaliação por métodos quantitativos e qualitativos; O desenvolvimento de novos objetos digitais voltados a outras tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como IoT, Big Data e Realidade Aumentada; O aprofundamento da análise sobre a eficácia das Metodologias Ativas mediadas por tecnologia na formação de competências para a Indústria 4.0.

Conclui-se que, embora não tenha sido possível entregar o OA em sua versão definitiva, os achados da presente pesquisa contribuem para o enfrentamento de uma situação-problema concreta da educação superior. A proposta de integrar simulações digitais, metodologias ativas e recursos educacionais abertos representa um caminho promissor para democratizar o acesso à Manufatura Aditiva e formar engenheiros mais bem preparados para os desafios da era digital.

## REFERÊNCIAS

3D CENTRO AMÉRICA. **3D printer Brazil**. 2025. Disponível em: <https://3dcentroamerica.com/misc/3d-printer-brazil.html>. Acesso em: 5 jun. 2025.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Agenda Brasileira para a Indústria 4.0: O Brasil preparado para os desafios do futuro**. ABDI, 2021. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 24 mai. 2024.

AÏT-KADDOUR, Abderrahmane et al. Transforming plant-based waste and by-products into valuable products using various “Food Industry 4.0” enabling technologies: A literature review. **Science of the Total Environment**, p. 176872, 2024.

AKHTAR, Mohammad. Industry 4.0 technologies impact on supply chain sustainability. *In: Supply Chain-Recent Advances and New Perspectives in the Industry 4.0 Era*. IntechOpen, 2022.

AKYAZI, Tugce et al. A guide for the food industry to meet the future skills requirements emerging with industry 4.0. **Foods**, v. 9, n. 4, p. 492, 2020a.

AKYAZI, Tugce et al. Skills needs of the civil engineering sector in the european union countries: Current situation and future trends. **Applied Sciences**, v. 10, n. 20, p. 7226, 2020b.

ALAZZAWI, Sheymaa et al. Investigating the impact of process parameters on the thermomechanical properties of three-dimensional (3d) printed polymer-nanoclay composites. **International Journal of Thermofluids**, v. 27, p. 101168, 2025.

ALFIERI, Romina Denise Jasso; MORA, Vicente de Jesús Fernández; GARCÍA-ROJAS, Antonio Daniel. Critical Perspective of Educational Innovation from Active Learning Methodologies. **Educación**, v. 38, p. 241-269, 2025.

ALLY, Mohamed. Foundations of educational theory for online learning. **Theory and practice of online learning**, v. 2, n. 1, p. 15-44, 2004.

AMANE, Meryem; AISSAOUI, Karima; BERRADA, Mohammed. Enhancing learning object analysis through fuzzy C-means clustering and web mining methods. **Emerging Science Journal**, v. 7, n. 3, p. 799-807, 2023.

ASSANTE, Dario; CENNAMO, Gerardo Maria; PLACIDI, Luca. 3D printing in Education: an European perspective. *In: 2020 IEEE global engineering education conference (EDUCON)*. IEEE, 2020. p. 1133-1138.

ASWAR, Sagarkumar J. et al. Enhancing surface finish and increasing fatigue resistance of Ti6Al4V produced through electron beam melting via chemical machining. **Journal of Materials Science: Materials in Engineering**, v. 20, n. 1, p. 44, 2025.

BARBOSA, João Batista Mendes et al. Utilização de impressoras 3D para o desenvolvimento de metodologias ativas em cursos de Engenharia. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 10, p. 1-13, 2021.

BASTOS, Athena. **Indústria 4.0**: os desafios e as perspectivas para as empresas. Alura, 22 dez. 2023. Disponível em: <https://www.alura.com.br/empresas/artigos/industria-4-0>. Acesso em: 30 maio 2024.

BAYLY-CASTANEDA, Karla; RAMIREZ-MONTOYA, María Soledad; MORITA-ALEXANDER, Adelina. Crafting personalized learning paths with AI for lifelong learning: a systematic literature review. *In: **Frontiers in Education***. Frontiers Media SA, 2024. p. 1424386.

BERBEL, Neusi Aparecida Navas. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. **Semina: Ciências sociais e humanas**, v. 32, n. 1, p. 25-40, 2011.

BHARDWAJ, Vipul et al. Redefining learning: student-centered strategies for academic and personal growth. *In: **Frontiers in Education***. Frontiers Media SA, 2025. p. 1518602.

BHARTI, Mukesh Shankar. Impact of Industry 4.0 Technologies for Advancement of Supply Chain Management (SCM) Sustainability: Prospects and Challenges. **Convergence of Industry 4.0 and Supply Chain Sustainability**, p. 157-175, 2024.

BHAT, Firdoos Afzal; PARVEZ, Saad. Emerging challenges in the sustainable manufacturing system: from Industry 4.0 to Industry 5.0. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series C**, v. 105, n. 5, p. 1385-1399, 2024.

BINKLEY, Marilyn et al. Defining twenty-first century skills. **Assessment and teaching of 21st century skills**, p. 17-66, 2012.

BOND, Melissa et al. Mapping research in student engagement and educational technology in higher education: A systematic evidence map. **International journal of educational technology in higher education**, v. 17, p. 1-30, 2020.

BONDIN, Andrea; ZAMMIT, Joseph Paul. Education 4.0 for Industry 4.0: A Mixed Reality Framework for Workforce Readiness in Manufacturing. **Multimodal Technologies and Interaction**, v. 9, n. 5, p. 43, 2025.

BONWELL, Charles C.; EISON, James A. **Active Learning; Creating Excitement in the Classroom**. ASHE-ERIC Higher Education Report No. 1. Washington, D. C.: The George Washington University, School of Education and Human Development, 1991.

BRAME, C. **Active learning**. Vanderbilt University Center for Teaching, 2016. Disponível em: <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/active-learning>. Acesso em: 20 ago. 2024.

BROO, Didem Gürdür; KAYNAK, Okyay; SAIT, Sadiq M. Rethinking engineering education at the age of industry 5.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 25, p. 100311, 2022.

CABANILLAS-GARCÍA, Juan Luis. The Application of Active Methodologies in Spain: An Investigation of Teachers' Use, Perceived Student Acceptance, Attitude, and Training Needs Across Various Educational Levels. **Education Sciences**, v. 15, n. 2, p. 210, 2025.

CANNIZZARO, Davide et al. Machine learning-enabled real-time anomaly detection for electron beam powder bed fusion additive manufacturing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 36, n. 3, p. 2105-2119, 2025.

CARATOZZOLO, Patricia et al. Developing skills for industry 4.0: Challenges and opportunities in engineering education. *In: 2022 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. IEEE, 2022. p.1-5.

CARVALHO, Ismael Almeida; DA SILVA, Clodoaldo Matias. Estratégias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia de produção. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 11, p. 4137-4149, 2024.

CASTAÑEDA, Linda; WILLIAMSON, Ben. Assembling new toolboxes of methods and theories for innovative critical research on educational technology. **Journal of New Approaches in Educational Research**, v. 10, n. 1, p. 1-14, 2021.

CHARIA, Oumaima et al. Real-Time Stringing Detection for Additive Manufacturing. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, v. 9, n. 3, p. 74, 2025.

CHIGBU, Bianca Ifeoma; NGWEVU, Viwe; JOJO, Avela. The effectiveness of innovative pedagogy in the industry 4.0: Educational ecosystem perspective. **Social Sciences & Humanities Open**, v. 7, n. 1, p. 100419, 2023.

CHONG, Siewhui et al. Integration of 3D printing and Industry 4.0 into engineering teaching. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 3960, 2018.

CHRISTIANSEN, Lasse et al. A framework for developing educational industry 4.0 activities and study materials. **Education Sciences**, v. 12, n. 10, p. 659, 2022.

COELHO, João Paulo et al. Electrochemical 3D printing of copper/graphene composites with gel precursors. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 136, p. 18-26, 2025.

COGNITIVE MARKET RESEARCH. **Global 3D Printing in Education Market Report 2024 Edition**. 8 ed., 2025. Disponível em: <https://www.cognitivemarketresearch.com/3d-printing-in-education-market-report>. Acesso em: 5 jun. 2025.

CONDE, Bruno et al. From Alternative to Scientific Conceptions in the Learning of Physics of Sound: Students' Perceptions of Learning Using Active Methodologies and Computer Simulators. *In: Perspectives and Trends in Education and Technology: Selected Papers from ICITED 2021*. Singapore: Springer Singapore, 2021. p. 495-504.

CONTRINO, Monica F. et al. Using an adaptive learning tool to improve student performance and satisfaction in online and face-to-face education for a more personalized approach. **Smart Learning Environments**, v. 11, n. 1, p. 6, 2024.

COŞKUN, Selim; KAYIKCI, Yaşanur; GENÇAY, Eray. Adapting engineering education to industry 4.0 vision. **Technologies**, v. 7, n. 1, p. 10, 2019.

DA SILVEIRA, Isabela Cristina et al. A Eficácia das Metodologias Ativas no Ensino Médio: Percepções de Docentes e Discentes. **Revista Femass**, v. 8, n. 1, 2024.

DATAINTELO. **3D Printing in Education Market**. Ontario, CA: Dataintelo, 2024. Disponível em: [https://dataintelo.com/report/3d-printing-in-education-market?utm\\_source=chatgpt.com](https://dataintelo.com/report/3d-printing-in-education-market?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 5 jun. 2025.

DE ARAÚJO SILVA, Mariana Augusta; REATEGUI, Bryan Abreu; DE OLIVEIRA, Cesar Bündchen Zaccaro. Características empreendedoras do discente do curso de Engenharia de Produção na Indústria 4.0. **Revista Gestão em Análise**, v. 8, n. 1, p. 150-163, 2019.

DE CASTILHO, Alex Sandro; TREVISAN, André Luis; MARCZAL, Diego. Conception of learning objects with feedback for self-regulation of learning mathematical concepts necessary for differential and integral calculus. **Acta Scientiae**, v. 24, n. 7, p. 176-201, 2022.

DE PAULA FERREIRA, William; ARMELLINI, Fabiano; DE SANTA-EULALIA, Luis Antonio. Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 149, p. 106868, 2020.

DO CABO, Isabel de Lurdes Pereira. Innovación pedagógica en la oralidad de Español como Lengua Extranjera en Portugal. **European Public & Social Innovation Review**, v. 10, p. 1-19, 2025.

DOLGOPOLOVAS, Vladimiras; DAGIENĖ, Valentina; JEVSIKOVA, Tatjana. Methodological guidelines for the design and integration of software learning objects for scientific programming education. **Scientific Programming**, v. 2020, n. 1, p. 6807515, 2020.

DOS SANTOS SOARES, Michele et al. Accessibility Barriers for Blind Students in Teaching-learning Systems. **Journal of Universal Computer Science**, v. 30, n. 10, p. 1342, 2024.

DURÁN-GONZÁLEZ, Guillermo et al. Psychometric properties of an instrument to evaluate students' perception of learning objects in statistics. **Sage Open**, v. 13, n. 3, p. 21582440231193192, 2023.

ENANG, Imo; OMEIHE, Kingsley. Real-Time, Adaptive AI Driven Business Simulation: Design Science Research on a Dynamic Learning Platform. **Terg Working Paper Series**, v. 23, 2025.

ESTÉVEZ-MÉNDEZ, José Luis et al. Evaluation of contextual variables in the implementation of the Flipped Classroom methodology in secondary education. **RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia**, v. 27, n. 2, 2024.

FAIDALLAH, Rawabe Fatima et al. Mechanical characterization of 3D-Printed carbon fiber-reinforced polymer composites and pure polymers: Tensile and compressive behavior analysis. **International Review of Applied Sciences and Engineering**, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2025.

FERREIRA, José Ednaldo Zane et al. INDÚSTRIA 4.0: contribuições da tecnologia para os postos de trabalho. **P2P e inovação**, v. 11, n. 2, 2025.

FINK, Maximilian C. et al. Simulation research and design: a dual-level framework for multi-project research programs. **Educational Technology Research and Development**, v. 69, p. 809-841, 2021.

FOKIDES, Emmanuel; LAGOPATI, Georgia. The utilization of 3D printers by elementary-aged learners: A Scoping Review. **Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice**, v. 23, p. 6, 2024.

GHARIBVAND, Vahid et al. Cloud based manufacturing: A review of recent developments in architectures, technologies, infrastructures, platforms and associated challenges. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 131, n. 1, p. 93-123, 2024.

GOLDKUHL, Göran; KARLSSON, Fredrik. Method engineering as design science. **Journal of the Association for Information Systems**, v. 21, n. 5, p. 4, 2020.

GONTAD, Francisco et al. Use of Biobased Resins Derived from Renewable Monomers for Sustainable 3D Fabrication Through Two-Photon Polymerization. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, v. 9, n. 3, p. 89, 2025.

GONZALES, Miguel Angel Calle. **Impressão 3D: tecnologia revolucionária ou hobby bacana?** Blog UFABC Divulga Ciência, Santo André, v. 4, n. 10, p. 8, 28 out. 2021. Disponível em: <https://ufabcdivulgaciencia.proec.ufabc.edu.br/2021/10/28/impressao-3d-tecnologia-revolucionaria-ou-hobby-bacana-v-4-n-10-p-8-2021/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

GOODWIN, Joshua R. What's the Difference? A Comparison of Student-Centered Teaching Methods. **Education Sciences**, v. 14, n. 7, p. 736, 2024.

GREGOR, Shirley; HEVNER, Alan R. Positioning and presenting design science research for maximum impact. **MIS quarterly**, p. 337-355, 2013.

GUERTLER, Matthias R. et al. Analysing Industry 4.0 technology-solution dependencies: a support framework for successful Industry 4.0 adoption in the product generation process. **Research in Engineering Design**, v. 35, n. 2, p. 115-136, 2024.

GUTIERREZ, Guillermo Laclote et al. Percepciones de los estudiantes de educación física sobre el aprendizaje basado en problemas (ABP). **Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación**, n. 56, p. 759-769, 2024.

HAQ, Reazul Haq Abdul et al. Mechanical Properties of Recycled PET/PC/MDI Composite Fabricated by 3D Printing. **Journal of Advanced Research in Applied Mechanics**, Batu Pahat, v. 120, n. 1, p. 1–13, ago. 2024.

HAßLER, Björn; HENNESSY, Sara; HOFMANN, Riikka. OER4Schools: Outcomes of a sustained professional development intervention in sub-Saharan Africa. *In: **Frontiers in Education***. Frontiers Media SA, 2020. p. 146.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. *In: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)***. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HERNÁNDEZ SABATÉ, Aura et al. From traditional teaching to flipped classroom: Impact on learning in engineering degrees. **Journal of technology and science education**, v. 14, n. 3, p. 798-814, 2024.

HEVNER, Alan R. et al. Design science in information systems research. **MIS quarterly**, p. 75-105, 2004.

HEW, Khe Foon et al. On the use of flipped classroom across various disciplines: Insights from a second-order meta-analysis. **Australasian Journal of Educational Technology**, v. 37, n. 2, p. 132-151, 2021.

HJALMARSON, Margret A.; PARSONS, Allison Ward. Conjectures, cycles and contexts: A systematic review of design-based research in engineering education. **Studies in Engineering Education**, v. 1, n. 2, 2021.

HOIDN, Sabine. **Student-centered learning environments in higher education classrooms**. Springer, 2016.

IKRAM, Chelliq et al. Model for motivating learners with personalized learning objects in a hypermedia adaptive learning system. **IJAI: International Journal of Artificial Intelligence**, v. 2252, n. 8938, p. 1283, 2024.

INSTITUTO SEMESP. **Mapa do Ensino Superior no Brasil – 15ª edição**. São Paulo: Instituto Semesp, 2025. Disponível em: <https://www.semesp.org.br/mapa/edicao-15/brasil/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

JARUŠEVIČIUS, Pranas et al. Transforming interactive educational content into immersive virtual reality learning objects. **Applied Sciences**, v. 14, n. 14, p. 6366, 2024.

JORGE, Letícia Neves et al. O contexto da Indústria 4.0 no processo educacional da engenharia. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 5, p. 7457-7479, 2023.

KAISS, Wijdane; MANSOURI, Khalifa; POIRIER, Franck. Effectiveness of an Adaptive Learning Chatbot on Students' Learning Outcomes Based on Learning Styles. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, v. 18, n. 13, 2023.

KERIMBAYEV, Nurassyl et al. A student-centered approach using modern technologies in distance learning: a systematic review of the literature. **Smart Learning Environments**, v. 10, n. 1, p. 61, 2023.

KHOSRAVANI, Mohammad Reza et al. Dynamic mixed mode I–II fracture of notched Brazilian discs fabricated by additive manufacturing. **International Journal of Impact Engineering**, v. 202, p. 105290, 2025.

LIN, Yu-Zheng et al. Transforming Engineering Education Using Generative AI and Digital Twin Technologies. **arXiv preprint arXiv:2411.14433**, 2024.

LÓPEZ-VILLANUEVA, David; PALAU, Ramon; SANTIAGO, Raúl. Analizando alternativas metodológicas para la investigación educativa: Design Science Research (DSR). **UTE Teaching & Technology (Universitas Tarraconensis)**, n. 1, p. e4062-e4062, 2025.

LOVATO, Fabricio Luís; MICHELOTTI, Angela; DA SILVA LORETO, Elgion Lucio. Metodologias ativas de aprendizagem: uma breve revisão. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 2, 2018.

LOZANO-PENA, Gissela et al. Teachers' social–emotional competence: History, concept, models, instruments, and recommendations for educational quality. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 12142, 2021.

LYNGDORF, Niels Erik Ruan; JIANG, Dan; DU, Xiangyun. Frameworks and models for Digital Transformation in Engineering Education: A literature review using a systematic Approach. **Education Sciences**, v. 14, n. 5, p. 519, 2024.

MARGHERITTI, Simona; MARCUCCI, Sofia; MIGLIORETTI, Massimo. Bridging the Gaps: Examining the Impact of Technology-Based Active Learning in Workplace Safety Training Through a Systematic Literature Review. **Safety**, v. 11, n. 1, p. 5, 2025.

MARQUES DE SANTANA COSTA, Ryllari Rianne et al. Integrated data processing architecture applied to learning objects repository for educational robotics: Proposing approach. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 110, n. 2, p. 89, 2024.

MCKENNEY, Susan; REEVES, Thomas C. Educational design research for relevant & robust scholarship. **Journal of Computing in Higher Education**, v. 37, n. 2, p. 614-638, 2025.

MITSUOKA, Narjara Ferreira. O desenvolvimento de competências na indústria 4.0 por meio de metodologias ativas. *In: Anais do Seminário de Boas Práticas de Ensino e Aprendizagem (SBPEA) da EEL-USP*. Anais... Lorena(SP) EEL-USP, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/sbpea2021/385338-o-desenvolvimento-de-competencias-na-industria-40-por-meio-de-metodologias-ativas>. Acesso em: 19 jun. 2025.

MORELLA, Paula et al. Technologies associated with industry 4.0 in green supply chains: A systematic literature review. **Sustainability**, v. 15, n. 12, p. 9784, 2023.

MOROSINI, Marilia Costa; CORTE, Marilene Gabriel Dalla. Teses e realidades no contexto da internacionalização da educação superior no Brasil. **Revista Educação em Questão**, v. 56, n. 47, p. 97-120, 2018.

MOTYL, Barbara; FILIPPI, Stefano. Trends in engineering education for additive manufacturing in the industry 4.0 era: a systematic literature review. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 15, n. 1, p. 103-106, 2021.

MUELLER, Egon; CHEN, Xiao-Li; RIEDEL, Ralph. Challenges and requirements for the application of industry 4.0: a special insight with the usage of cyber-physical system. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 30, p. 1050-1057, 2017.

MUNTEAN, Mihaela; MILITARU, Florin Daniel. Design science research framework for performance analysis using machine learning techniques. **Electronics**, v. 11, n. 16, p. 2504, 2022.

NEUENFELDT JÚNIOR, A. et al. Aplicação de um sistema proposto de medição de desempenho por manufatura aditiva em uma indústria brasileira. **International Journal of Industrial Engineering & Management (IJIEM)**, v. 15, n. 2, 2024.

NGUYEN, Ngoc Buu Cat et al. Teadash: Implementing and Evaluating a Teacher-Facing Dashboard Using Design Science Research. *In: Informatics*. MDPI, 2024. p.61.

OLIVEIRA, Mónica. Art education in initial teacher training: active methodologies as a didactic resource in the training. **European Public & Social Innovation Review**, v. 10, p. 1-14, 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: ONU Brasil, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 7 jun. 2025.

- ORTIZ, Jessica S. et al. Aprendizagem Ativa Baseada em Gêmeos Digitais para Controle e Supervisão de Processos Industriais na Indústria 4.0. **Sensores**, v. 25, n. 7, p. 2076, 2025.
- OTTO, Sofie et al. Emerging digital practices supporting student-centered learning environments in higher education: A review of literature and lessons learned from the COVID-19 pandemic. **Education and Information Technologies**, v. 29, n. 2, p. 1673-1696, 2024.
- OUYANG, Fan et al. Integration of artificial intelligence performance prediction and learning analytics to improve student learning in online engineering course. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, v. 20, n. 1, p. 4, 2023.
- PACHOURI, Vikrant et al. Empowering sustainability in the built environment: A technological Lens on industry 4.0 Enablers. **Technology in Society**, v. 76, p. 102427, 2024.
- PATEL, Piyush; GOHIL, Piyush. Design, analysis and development of prosthetic and orthotic elements by additive manufacturing process. **International Journal of Lightweight Materials and Manufacture**, v. 8, n. 2, p. 205-227, 2025.
- PEFFERS, Ken et al. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.
- PICCAROZZI, Michela et al. Industry 4.0 technologies as a lever for sustainability in the communication of large companies to stakeholders. **European Journal of Innovation Management**, v. 27, n. 6, p. 2042-2065, 2024.
- PINHEIRO, Elisangela; DICKMANN, Ivo; MULLER, Felipe Martins. Metodologias ativas no ensino da engenharia de produção: aprendizagem baseada em experiências (ABEX). **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 42, 2023.
- PIRATELLI, Claudio Luis. A engenharia de produção no Brasil. *In: Congresso Brasileiro de 2005*, 2005.
- PRAJAPATI, Devendra Kumar et al. Enabling industry 4.0: Assessing technologies and prioritization framework for agile manufacturing in India. **Journal of Cleaner Production**, v. 447, p. 141488, 2024.
- PRIMARY RESEARCH GROUP et al. **Survey of American College Students 2022: Use of 3D Printers**. Primary Research Group Inc, 2022.
- PRINCE, Michael. Does active learning work? A review of the research. **Journal of engineering education**, v. 93, n. 3, p. 223-231, 2004.

PW CONSULTING. **Worldwide 3D Printing Market in Education Sector Market Research 2024 by Type, Application, Participants and Countries Forecast to 2030**. Hong Kong: PW Consulting, 2024. Disponível em: <https://pmarketresearch.com/product/worldwide-3d-printing-market-in-education-sector-market-research-2024-by-type-application-participants-and-countries-forecast-to-2030/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

QUINTERO, Walter Rosas; MALDONADO, Julia Eleana Namuche. Competencies of the engineer in industry 4.0 context: a systematic literature review. **Production**, v. 34, p. 1-17, 2024.

RANA, Bharti; RATHORE, Sanjay S. Industry 4.0—Applications, challenges and opportunities in industries and academia: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 79, p. 389-394, 2023.

REBOUÇAS, Marcos Sergio Carvalho; DE OLIVEIRA, Marcos Antônio; BEZERRA, Diogo Pereira. Vygotsky, Piaget e Freire: Perspectivas Teóricas e Contribuições ao Ensino e Aprendizagem da Matemática. *Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática*, v. 17, n. 2, p. 250-256, 2024.

REYNOLDS, David; DACRE, Nicholas. Interdisciplinary research methodologies in engineering education research. **arXiv preprint arXiv:2104.04062**, 2021.

RIAD, Mustapha et al. The new e-learning adaptation technique based on learner's learning style and motivation. **Journal of Education and Learning (EduLearn)**, v. 17, n. 3, p. 472-482, 2023.

ROONEY, Sean; PITZ, Emil; POCHIRAJU, Kishore. AutoML-driven diagnostics of the feeder motor in fused filament fabrication machines from direct current signals. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 36, n. 3, p. 1999-2016, 2025.

ROSSETTI-LÓPEZ, Sergio-Ramón; CORONADO-GARCÍA, Manuel-Arturo; ROJAS-RODRÍGUEZ, Isaac-Shamir. Students' perception about the use of interactive online activities with H5P. **Revista Iberoamericana de Educación Superior**, v. 14, n. 40, p. 59-76, 2023.

SANTA RITA, Luciana. Digital transformation: Patents as a determinant proxy for industry 4.0. **Journal of Current Science and Research Review**, v. 1, n. 1, p. 37-69, 2023.

SANTHIYA, M.; JEYALAKSHMI, J.; VENU, Harish. Emerging Networking Technologies for Industry 4.0. *In: Privacy Preservation and Secured Data Storage in Cloud Computing*. IGI Global, 2023. p. 322-340.

SCIENTIFIC, Little Lion. Learning Object from Emergence To Nowadays: Systematics Literature Review. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, v. 102, n. 4, 2024.

SEK, Yong-Wee; LAW, Check-Yee; LAU, Siong-Hoe. The effectiveness of learning objects as alternative pedagogical tool in laboratory engineering education. **International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning**, v. 2, n. 2, p. 145, 2012.

SENAI-RS. **Os impactos da Indústria 4.0 nos negócios**. 2023. Disponível em: <https://blog-tecnologia.senairs.org.br/os-impactos-da-industria-4-0-nos-negocios/>. Acesso em: 21 jul. 2024.

SENGUPTA, Souvik; PAL, Saurabh; PRAMANIK, Pijush Kanti Dutta. Mapping Learner's Query to Learning Objects using Topic Modeling and Machine Learning Techniques. **Scalable Computing: Practice and Experience**, v. 24, n. 4, p. 909-917, 2023.

SHABUR, Md Abdus; RAHMAN, Kazi Afzalur; SIDDIKI, Md Raihan. Evaluating the difficulties and potential responses to implement Industry 4.0 in Bangladesh's steel sector. **Journal of Engineering and Applied Science**, v. 70, n. 1, p. 158, 2023.

SIGOV, Alexander et al. Emerging enabling technologies for industry 4.0 and beyond. **Information Systems Frontiers**, v. 26, n. 5, p. 1585-1595, 2024.

SILVEIRA, Ismar Frango; CARDOSO, Alexandre; MARTINS, Valéria Farinazzo. Simulation in Education and Training: From Virtual Reality to Digital Twins. *In: Latin American Conference on Learning Technologies*. Springer, Singapore, 2025. p. 373-387.

TANANE, Badreddine et al. Bridging the gap between Industry 4.0 and manufacturing SMEs: A framework for an end-to-end Total Manufacturing Quality 4.0's implementation and adoption. **Journal of Industrial Information Integration**, p. 100833, 2025.

TANG, Keow Ngang. The importance of soft skills acquisition by teachers in higher education institutions. **Kasetsart Journal of Social Sciences**, v. 41, n. 1, p. 22–27-22–27, 2020.

TAŞDEMİR, Mehmet et al. Experimental and numerical investigation of mechanical properties of PLA-based auxetic structures. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1-21, 2025.

THWE, Win Phyu; KALMAN, Aniko. Lifelong learning in the educational setting: A systematic literature review. **The Asia-Pacific Education Researcher**, v. 33, n. 2, p. 407-417, 2024.

THYSSEN, Christoph; MEIER, Monique. Impressão 3D como elemento de ensino — percepções e perspectivas de professores em escolas alemãs. *In: Frontiers in Education. Frontiers Media SA*, 2023. p. 1233337.

TINOCA, Luís et al. Design-based research in the educational field: A systematic literature review. **Education Sciences**, v. 12, n. 6, p. 410, 2022.

- TO, Thanh Tuan; AL MAHMUD, Abdullah; RANSCOMBE, Charlie. A framework for integrating additive manufacturing into engineering education: perspectives of students and educators. **European Journal of Engineering Education**, v. 50, n. 2, p. 298-319, 2025.
- TO, Thanh Tuan; AL MAHMUD, Abdullah; RANSCOMBE, Charlie. Opportunities and challenges of 3D printing integration into engineering education in developing countries. **Educational Technology & Society**, v. 27, n. 4, p. 191-217, 2024.
- TUSQUELLAS, Natalia et al. Educational Conceptual Model Design Research Methodology. **UTE Teaching & Technology (Universitas Tarraconensis)**, n. 2, p. e4103-e4103, 2025.
- VASCONCELOS, Yumara Lúcia; MANZI, Suely Maria Silva. Processo ensino-aprendizagem e o paradigma construtivista. **Interfaces Científicas-Educação**, v. 5, n. 3, p. 65-74, 2017.
- VENTURINI, Simone Ferigolo; SILVA, Taís Oliveira. Uso e benefícios das metodologias ativas em uma disciplina de engenharia de produção. **CIPPUS-Revista de Iniciação Científica**, v. 6, n. 1, p. 59-74, 2018.
- VISHNOI, Sushant Kumar et al. Industry 4.0: enabling technologies, application and challenges of implementation. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 43, n. 3, p. 300-319, 2024.
- VOM BROCKE, Jan; MAEDCHE, Alexander. The DSR grid: six core dimensions for effectively planning and communicating design science research projects. **Electronic Markets**, v. 29, p. 379-385, 2019.
- VOOGT, Joke et al. Computational thinking in compulsory education: Towards an agenda for research and practice. **Education and information technologies**, v. 20, p. 715-728, 2015.
- WANG, Shiyong et al. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International journal of distributed sensor networks**, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016.
- WANYAMA, Tom; SINGH, Ishwar; CENTEA, Dan. A practical approach to teaching industry 4.0 technologies. *In: Online Engineering & Internet of Things: Proceedings of the 14th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2017*, held 15-17 March 2017, Columbia University, New York, USA. Springer International Publishing, 2018. p.794-808.
- WILEY, David A. et al. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. **The instructional use of learning objects**, v. 2830, n. 435, p. 1-35, 2000.

YAO, Yao; GONZÁLEZ-VÉLEZ, Horacio. AI-Powered System to Facilitate Personalized Adaptive Learning in Digital Transformation. **Applied Sciences**, v. 15, n. 9, p. 4989, 2025.

YING, Kuo-Ching et al. Production scheduling of additively manufactured metal parts. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 57, p. 100-115, 2025.

ZATTI, Evandro Alberto; KALINKE, Marco Aurélio. Plataforma GenIA: uma proposta de uso da inteligência artificial e da programação intuitiva na criação de objetos de aprendizagem. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 12, n. 30, p. 01-23, 2024.

ZAWACKI-RICHTER, Olaf et al. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators? **International journal of educational technology in higher education**, v. 16, n. 1, p. 1-27, 2019.

ZHOU, Longfei et al. Additive manufacturing: a comprehensive review. **Sensors**, v. 24, n. 9, p. 2668, 2024.

ZULUAGA, Adriana Maria Soto; RODRÍGUEZ, María de la Mar Bustamante. El enfoque STEM en la innovación educativa. Una mirada a las disposiciones didácticas de los docentes. **European Public & Social Innovation Review**, v. 10, p. 1-17, 2025.