

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FÁBIO DE ANDRADE DOS SANTOS MARIANO**

**MODELOS DE ENSINO 4.0 PARA ENGENHEIROS NA INDÚSTRIA 4.0**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**FÁBIO DE ANDRADE DOS SANTOS MARIANO**

**MODELOS DE ENSINO 4.0 PARA ENGENHEIROS NA INDÚSTRIA 4.0**

**Education 4.0 models for engineering in industry 4.0**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Cláudia Tania Picinin.

**PONTA GROSSA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FÁBIO DE ANDRADE DOS SANTOS MARIANO**

**MODELOS DE ENSINO 4.0 PARA ENGENHEIROS NA INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 27 de novembro de 2023

---

Claudia Tania Picinin  
Doutorado  
Universidade Tecnológica do Paraná

---

Shih Yung Chin  
Doutorado  
Universidade Tecnológica do Paraná

---

Cristiano Couto do Amarante  
Mestrado  
Universidade Tecnológica do Paraná

**PONTA GROSSA**

**2023**

Dedico este trabalho ao Senhor Jesus Cristo, à  
minha família, irmãos na fé e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não conseguirão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa singular fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte das minhas orações e de minha gratidão.

Agradeço a minha orientadora Prof.(a) Dr.(a) Claudia Tania Picinin, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, ajudando-me a trilhar a graduação com êxito.

Aos meus colegas de sala, que cooperaram nos trabalhos, para estudar antes das provas e na companhia do dia a dia, tornando mais leve as árduas horas de estudo.

A todos os professores e demais funcionários da instituição que deram o seu melhor para auxiliar-me oferecendo as informações e a estrutura necessária para o aprendizado, muito obrigado pela colaboração.

Gostaria de deixar registrado, também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio, em especial a minha mãe Mara Izabel dos Santos Mariano. Por suas orações que me guardaram, no sustento que me manteve e no amor que me motivou a continuar.

Aos meus irmãos em Cristo da Aliança Bíblica Universitária, que semanalmente partilhavam da mesma fé, alicerçada na palavra de Deus.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

O presente trabalho foi concebido com base no problema de pesquisa: quais são os modelos de ensino 4.0 voltados ao aprimoramento dos estudantes de engenharia na indústria 4.0? Assim, o objetivo geral consiste em identificar os modelos de ensino 4.0 voltados ao aprimoramento dos estudantes de engenharia na indústria 4.0. A abordagem metodológica empregada é denominada "*Methodi Ordinatio*" para a seleção dos artigos. As bases de dados consultadas foram ScienceDirect (9 resultados), Web of science (22 resultados) e Scopus (60 resultados). Utilizando-se dos gerenciadores Mendeley e Jab ref para excluir trabalhos duplicados e não relacionados. Por fim, empregou-se a equação "*InOrdinatio*" e limitou-se a artigos de "*review e research article*"; como consequência, dos 91 trabalhos encontrados, apenas 32 foram selecionados para compor o corpus da pesquisa e analisados sistematicamente. O capítulo de Resultados identifica os cinco modelos de ensino 4.0 que aprimoram o aprendizado dos estudantes de engenharia no contexto da Indústria 4.0, sendo eles: parcerias externas, gamificação, laboratório remoto, laboratório virtual e fábrica de aprendizagem. Conclui-se que é importante a observância por parte dos gestores universitários para implementá-los e pelos ingressantes de cursos de engenharia para verificar sua adoção na respectiva universidade.

Palavras-chave: educação 4.0; indústria 4.0; engenharia.

## ABSTRACT

This work was conceived based on the research problem: what are the 4.0 teaching models aimed at improving engineering students in Industry 4.0? Thus, the general objective is to identify 4.0 teaching models aimed at improving engineering students in Industry 4.0. The methodological approach employed is called "Methodi Ordinatio" for the selection of articles. The databases consulted were ScienceDirect (9 results), Web of Science (22 results) and Scopus (60 results). The Mendeley and Jab ref managers were used to exclude duplicate and unrelated works. Finally, the "InOrdinatio" equation was used and limited to "review and research article" articles; as a result, of the 91 articles found, only 32 were selected to make up the research corpus and were systematically analyzed. The Results chapter identifies the five 4.0 teaching models that enhance the learning of engineering students in the context of Industry 4.0, namely: external partnerships, gamification, remote laboratory, virtual laboratory and learning factory. The conclusion is that it is important for university managers to implement them and for engineering undergraduates to verify their adoption at their university.

Keywords: education 4.0; industry 4.0; engineering;

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Síntese da Indústria 4.0 .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2 - Síntese da Educação 4.0. ....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 3 - Estrutura do processo de pesquisa .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 4 - Perguntas aos textos .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 5 - Nuvem de palavras.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 6 - Análise de Swot.....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 - Score InOrdinatio dos artigos .....</b>	<b>48</b>
<b>Gráfico 2 - Quantidade de artigos por ano de publicação .....</b>	<b>53</b>
<b>Gráfico 3 - Representatividade das publicações por país .....</b>	<b>54</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1- Características da Educação 4.0.....</b>	<b>13</b>
<b>Quadro 2 - Passos da “Methodi Ordinatio”.....</b>	<b>47</b>
<b>Quadro 3 - Resultado bruto da busca sistemática .....</b>	<b>48</b>
<b>Quadro 4 - Recomendações para superar os desafios.....</b>	<b>62</b>
<b>Quadro 5 - Matérias no novo currículo.....</b>	<b>71</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.4</b>	<b>Delimitação do tema</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Indústria 4.0</b> .....	<b>18</b>
2.1.1	Tecnologias da indústria 4.0.....	20
2.1.1.1	Internet das Coisas (Iot).....	21
2.1.1.2	Simulação.....	22
2.1.1.3	Realidade Aumentada.....	22
2.1.1.4	Nuvem.....	23
2.1.1.5	Robôs.....	24
2.1.1.6	Big Data.....	24
2.1.1.7	Tecnologia Háptica.....	25
2.1.1.8	Gêmeo Digital.....	26
2.1.2	Desafios de implementar a indústria 4.0 .....	26
<b>2.2</b>	<b>Educação 4.0</b> .....	<b>28</b>
2.2.1	Características da educação 4.0 para a Indústria 4.0 .....	32
2.2.1.1	Educação flexível.....	32
2.2.1.2	Educação mais imersível.....	34
2.2.1.3	Educação personalizada.....	35
2.2.1.4	Educação tecnológica.....	36
2.2.1.5	Educação Inovadora.....	37
2.2.1.6	Educação multidisciplinar.....	37
2.2.1.7	Educação com caráter experimental.....	38
2.2.2	Consciência por parte dos discentes.....	39
2.2.3	Abordagens necessárias aos docentes.....	40
2.2.4	Abordagens necessárias as universidades .....	42
2.2.5	Métodos de avaliação.....	44
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Modelos</b> .....	<b>56</b>

4.1.1	Parcerias externas.....	57
4.1.2	Gamificação .....	59
4.1.3	Laboratório Remoto.....	60
4.1.4	Laboratório Virtual .....	62
4.1.5	Fábrica de Aprendizagem .....	65
<b>4.2</b>	<b>Mudanças no currículo .....</b>	<b>67</b>
<b>4.3</b>	<b>Proposições para a prática.....</b>	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE A: InOrdinatio.....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a contextualização do tema de pesquisa entre três eixos de pesquisa, que são: Educação 4.0, Indústria 4.0 e Engenharia; o problema de pesquisa, bem como, o objetivo geral e os específicos que por meio de seu cumprimento visam destacar a problemática. Em seguida, é apresentada a justificativa, demonstrando no que o presente trabalho agrega valor à sociedade, e por fim, a delimitação do tema, evidenciando as condições de contorno.

### 1.1 Contextualização

O conceito da Indústria 4.0 surgiu na Alemanha, é uma nova revolução industrial, que visa mediante de alta tecnologia fortalecer a competitividade na indústria de transformação, logo, está ligada a processos de transformação que tendem a ser automatizados e os sistemas a se conversarem em rede.

Também pode ser entendido como a digitalização do setor de manufatura, com muitos sensores embutidos, que captam os dados, aglutinados para se tornarem informação e depois tem-se a análise de dados para gerar conhecimento e concomitantemente melhorias nos processos (PRIETO *et al.*, 2019).

Esse ambiente digitalizado permite interface física, mista ou remota. Essa transformação industrial coaduna com as demandas inconstantes dos clientes, que se faz necessária a característica flexível da produção. Além disso, garante maior produtividade e diagnósticos mais precisos dos processos (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022)

A Indústria 4.0 pressupõe a utilização de tecnologias, as quais estão: Internet das Coisas (IoT<sup>1</sup>) (PRIETO *et al.*, 2019), Simulação computadorizada (PROMYOO *et al.*, 2019), Realidade Aumentada (CABALLERO *et al.*, 2020), Sistema de armazenamento de dados em nuvem (GURIDI *et al.*, 2022), Big Data <sup>2</sup>(MOGOS *et al.*, 2018), utilização de robôs (BRAUN *et al.*, 2022), tecnologia háptica (NOGUEZ *et al.*, 2021), Gêmeo Digital (GEUER *et al.*, 2023), entre outras que compõe o portfólio tecnológico.

---

<sup>1</sup> IoT: sigla em inglês de “*Internet of Things*”, significando Internet das Coisas

<sup>2</sup> Big Data: palavra em inglês que significa Grandes Dados

A concentração de tais tecnologias altera os processos industriais, deixando-os mais competitivos e responsivos (RAMIREZ *et al.*,2018). Os autores, em geral, não tratam de todo portfólio tecnológico disponível, mas combina algumas tecnologias para aplicar. Isso se deve a complexidade de utilizá-las, mas também por serem recentes.

Por mais que não se consiga trabalhar com todas simultaneamente, faz-se imprescindível aos futuros engenheiros ter contato com estas tecnologias, tanto para saber lidar com elas quanto para aperfeiçoá-las.

Entretanto, para que esse conjunto de tecnologias que compõem a Indústria 4.0 possam ser aplicadas, precisa-se de profissionais capacitados. Nesse sentido se insere a Educação 4.0, como meio de se adquirir o acesso a essas novas informações e o processo para incorporar o conhecimento, na prática.

O ponto de partida para acompanhar a nova revolução industrial é propor também uma modificação no ensino, para que ambos caminhem para a mesma direção, Indústria 4.0 e Educação 4.0 vinculadas ao mesmo propósito, atender as necessidades de mercado.

A Educação 4.0 tem o potencial para preparar a força de trabalho para as posições empregatícias futuras (LOPEZ *et al.*,2021). Essa preparação envolve uma abordagem de educação voltada a competências, por isso da importância de se entender e aplicar as características corretas e necessárias para o real desenvolvimento acadêmico.

Em linhas gerais, neste trabalho salienta-se sete características necessárias da educação no contexto da Indústria 4.0:

**Quadro 1- Características da Educação 4.0**

Característica	Descrição
Flexível	Ser acessível e entregue a maior quantidade de pessoas possíveis
Imersível	Ser possível o aluno estar enquadrado, conseguir visualizar
Personalizada	Desenvolver a aprendizagem consoante as necessidades específicas de cada aluno
Tecnológica	Dar preferência a utilização de aparelhos tecnológicos
Inovadora	Estar disposta a trazer elementos novos

Multidisciplinar	Disciplinas que colaboram com diferentes áreas do conhecimento e profissionais
Experimental	Participação ativa, caráter prático, aplicação de conhecimentos teóricos em soluções reais

Fonte: Autoria própria (2023)

Obviamente, como toda mudança, há de ser enfrentado alguns desafios, pois as perturbações no sistema, apesar de serem benéficas, geram um desconforto com quem já está acostumado com o “jeito atual de se fazer”.

Os indivíduos afetados por conta das recentes adaptações da educação, e podem oferecer resistência, são os docentes, discentes e os gestores universitários. Para cada um há abordagens necessárias que esses indivíduos devem ter consciência, a fim de que sejam coerentes as exigências.

Por parte dos discentes, devem estar preparados para a mudança e terem consciência coletiva (GUZMAN, 2019). O que diz respeito aos docentes, precisam adotar a postura de facilitadores, não mais de centralizadores do conhecimento; abordarem em seus conteúdos programáticos aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 e se requalificarem profissionalmente.

Quanto as universidades e seus gestores, precisam ter coragem para abraçarem a mudança, dar apoio financeiro para oferecer a estrutura necessária quanto aos equipamentos tecnológicos, dentro do possível, e ofertar capacitação ao corpo docente. Tudo isso em direção a Educação 4.0.

De maneira em geral, os desafios podem ser resumidos como: falta de estrutura física (ALAKRASH; RAZAK, 2021), falta de profissionais capacitados (INGALDI *et al.*, 2023), escassos recursos financeiros (MOGOS *et al.*, 2018) e resistência a mudança por parte das pessoas (INGALDI *et al.*, 2023).

Considerando a importância estratégica do ensino superior para o desenvolvimento econômico e social de uma nação, as mudanças precisam ocorrer e sobrepujar quaisquer desafios que se deparar.

Para que as tecnologias da Indústria 4.0 possam ser implementadas é essencial que os modelos educacionais as tornem viáveis. O primeiro modelo expresso é o de parcerias externas, em que as empresas têm conexões com entes externos à instituição, podendo ser entre empresas, ou a cooperação com universidades. Lopez et al. (2021, p. 1) evidenciam isso alegando que, “esta formação

está também sujeita à necessidade de ligar os setores acadêmicos com os setores governamentais, industriais e sociais”.

O segundo modelo, baseia-se na utilização de Gamificação, que consiste na capacitação de pessoas por meio de jogos sérios, onde a mecânica e dinâmica são típicas de jogos, entretanto, resolve problemas práticos e melhora o processo de aprendizagem.

Alguns dos elementos da gamificação que copiam os jogos são: as narrativas, feedbacks, objetivos, competição, entre outras características que proporcionam maior interatividade e diversão enquanto se aprende (MOGOS *et al.*, 2018). Tendo destaque no ensino principalmente na engenharia, devido às análises de diferentes cenários voltados a projetos.

O terceiro modelo trata-se a respeito de laboratório remoto, que utilizam a conectividade da Internet para controlar equipamentos físicos de maneira econômica, permitindo a realização de experimentos à distância, a depender da unidade curricular. O diferencial está na possibilidade dos alunos poderem aprender a operar máquinas industriais remotamente, promovendo a Indústria 4.0.

O quarto, e penúltimo modelo é o laboratório virtual, constitui-se em disponibilização de ambientes online que oferecem acesso a uma biblioteca de experimentos virtuais. Através de aplicativos web, os estudantes replicam procedimentos de laboratórios reais, utilizando tecnologia de Realidade Virtual para simulações realistas.

A respeito do quinto modelo, chamado fábrica de aprendizagem, é um conceito que integra equipamentos acadêmicos e instalações de produção para simular ambientes industriais no campus universitário. Sua função primordial é formar engenheiros preparados para a Indústria 4.0, proporcionando um ambiente prático que promove a colaboração entre humanos e tecnologia. Essas fábricas, servem como centros de educação, pesquisa e inovação, capacitando os estudantes a implementar soluções eficazes na produção, otimizando processos e preparando-os para desafios da indústria moderna.

Para sustentar esses modelos de educação e conectar com as características da Educação 4.0, aborda-se a respeito de mudanças no currículo, pois, como o perfil dos alunos têm mudado, as novas composições dos currículos tendem a criar mais espaço para abordagens práticas (projetos), e precisam conter conceitos de “*Indústria 4.0*”, principalmente em departamentos de engenharia.

Por fim, há o fechamento com a seção proposições para a prática, que de maneira lacônica reúne os principais pontos abordados no trabalho, estruturando os procedimentos ideais de ensino 4.0 voltado ao aprimoramento de engenheiros frente a indústria 4.0.

O problema da pesquisa é: Quais são os modelos de ensino 4.0 voltados ao aprimoramento dos engenheiros frente a indústria 4.0?

## **1.2 Objetivos**

Identificar os modelos de ensino 4.0 voltados ao aprimoramento dos engenheiros frente a indústria 4.0.

- Objetivo Específico 1: Mapear os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0.
- Objetivo Específico 2: Apontar as características relevantes do novo paradigma educacional.
- Objetivo Específico 3: Esclarecer as mudanças necessárias da composição dos novos currículos.

## **1.3 Justificativa**

Esse trabalho se justifica de acordo com diferentes perspectivas, do ponto de vista científico, quanto à exposição do estado da arte entre Educação 4.0, Indústria 4.0 e Engenharia, bem como maior qualificação da mão de obra. Econômico e empresarial, com profissionais mais treinados, tem-se margem para melhores índices produtivos. Outrossim, contribui socialmente, devido à oportunidade de inserção de novos indivíduos, a capacitação e treinamento, auxiliados pela tecnologia.

Sob a ótica dos autores, a temática se justifica para formar novos profissionais qualificados com novos currículos (RAMIREZ *et al.*, 2018), introduzindo novos conceitos didáticos e aplicando tecnologias disruptivas (GOLDIN *et al.*, 2022).

#### **1.4 Delimitação do tema**

O presente trabalho abrange a gestores universitários que podem propor modificações no formato do ensino; aos alunos que pretendem entrar no ensino superior entender e alinhar se às instituições que tais almejam têm-se essas abordagens tecnológicas, e para os demais profissionais a compreensão que precisam de capacitação nesse novo contexto de indústria 4.0, sendo possível pelos modelos expostos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo faz uma análise bibliográfica acerca da Indústria 4.0, suas principais características, tecnologias, bem como os desafios de sua implementação. Além disso, explanam-se os principais aspectos da Educação 4.0 e as abordagens necessárias no âmbito universitário, tanto para discentes, quanto para docentes e gestores. Ao final, são expostos os métodos de avaliação utilizados pela Educação 4.0.

### 2.1 Indústria 4.0

Acerca da Indústria 4.0, é válido ressaltar que este termo foi apresentado pela primeira vez na Feira de Hannover, na Alemanha, no ano de 2011 (VU, 2018). Caracterizada por implementar inúmeros avanços tecnológicos na área digital, a proposta trazida pela Indústria 4.0 foi amplamente adotada como estratégia governamental por inúmeros países (QIAN *et al.*, 2023).

Quando se trata de conceituar Indústria 4.0, observa-se que, “às vezes causa ambiguidade e desacordo quando se trata da compreensão do termo, bem como de seus princípios e formas de implementação” (MOGOS *et al.*, 2018, p. 1). A este respeito, assevera-se que:

O conceito de I4.0 é baseado na integração de tecnologias de informação e comunicação e tecnologia industrial, e depende principalmente da construção de um sistema ciberfísico para realizar uma fábrica digital e inteligente, para promover a fabricação para se tornar mais digital, liderada pela informação, sob medida e ecológica (RAMIREZ *et al.*, 2018, p. 2).

O programa trazido pela Indústria 4.0 voltou-se para a promoção dos processos industriais através da digitalização da produção (PRIETO *et al.*, 2019). Segundo Guzman (2019), trata-se de uma iniciativa estratégica, pois o governo alemão não se atentou apenas em solucionar os desafios europeus à época de sua idealização, mas sim vislumbrou o horizonte.

Argumenta-se que o fato de a Alemanha abrigar inúmeras empresas de tecnologia de grande porte, justifica o aparecimento do conceito de Indústria 4.0

primeiramente em um artigo publicado pelo governo alemão, como uma agenda altamente tecnológica a ser adotada rumo a 2020 (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Vu (2018) comenta que além da conceituação em 2011 na Alemanha, o termo continuou sendo discutido. Exemplo disso foi o Fórum Econômico realizado em Davos-Klosters, na Suíça, em 2016, cujo tema foi acerca da Indústria 4.0.

A Indústria 4.0, é, portanto, uma forma de transformar o ambiente industrial, que incorpora todos os elementos existentes que levam ao aumento da produtividade, à redução de custos, produção focada em um único segmento, maior variedade de produtos, orientação ao cliente e ajuda a interconectar a produção com o meio ambiente, os negócios para agilizar a comunicação do sistema homem-máquina-informação e a levar a uma melhor comunicação (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022, p. 4).

O fato da Indústria 4.0 ter impactado profundamente a produtividade, os custos, as negociações e toda cadeia produtiva, fez com que toda a sociedade sofresse uma remodelagem (MOURTZIS *et al.*, 2021). Segundo Grodotzki *et al.*, (2018), essa remodelagem gerou mudanças significativas nas percepções e exigências das pessoas, indo além da manufatura alemã e mundial.

Quanto ao propósito da Indústria 4.0, tem-se que o objetivo primordial é a materialização de um modelo de produção flexível e, ao mesmo tempo, personalizado, por meio dos métodos de digitalização. Outro ponto crucial é a integração entre pessoas, dispositivos e produtos ao longo de todo o processo produtivo (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Um ponto sensível deste modelo de produção flexível, conectado e efetivo, é a necessidade de atuação de pessoas qualificadas. Contudo, segundo Ingaldi *et al.*, (2023, p. 2), “no mercado há falta de funcionários com amplo conhecimento e competências no campo da Indústria 4.0”.

Entretanto, a fim de que se tenha profissionais qualificados e alinhados com as demandas inerentes da indústria 4.0, “criou-se uma enorme pressão sobre as atividades de treinamento universitário, desde a construção de currículo acadêmico e atualização de conteúdo” (VU, 2018, p. 6). Neste quesito, para Elizondo e Reyes (2023, p. 1), “o setor 4.0 tem sido uma iniciativa transformadora para as organizações”.

A próxima seção irá abordar algumas das tecnologias utilizadas na Indústria 4.0.

### 2.1.1 Tecnologias da indústria 4.0

A Indústria 4.0, emerge da convergência de várias tecnologias digitais para transformar os processos industriais em sistemas conectados, previsíveis e resilientes. Essa transformação é impulsionada pelo uso combinado de capacidades das tecnologias da informação (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Por meio destas tecnologias da informação, a cadeia industrial passou a conviver com conceitos nunca antes utilizados, tais como, “Grandes Dados, Internet das Coisas, Realidade Virtual e Aumentada e Aprendizagem de Máquina” (MOGOS *et al.*, 2018). Além destes, há que citar a visualização de dados abertos e interligados, automação, computação móvel e em nuvem.

Consoante a Mogos, Kleppe *et al.* (2022), elenca as ferramentas de design avançado de produtos, as simulações com gêmeos digitais, os robôs autônomos e a manufatura aditiva dentre as tecnologias adotadas pela Indústria 4.0. Prieto *et al.*, (2019), por conseguinte, defende que as tecnologias da Indústria 4.0 envolvem desde a Internet das Coisas, até os sistemas ciberfísicos, englobando tudo que advém da Tecnologia da Informação e Tecnologia Operacional.

Dao *et al.*, (2022, p. 2), traz os termos “inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT), *big data*, robôs autônomos, computação em nuvem e aprendizado de máquina”; enquanto Mustățã *et al.*, (2022, p. 2) assevera que “o setor 4.0 tem como foco a automação, *big data* e a inteligência artificial (IA).”

Por fim, e na mesma toada, Qian *et al.*, (2023, p. 3) alude que o foco está em “automação avançada, robótica, interfaces homem-máquina, uso de análise de dados (*Big Data*), aprendizado de máquina (*ML*<sup>3</sup>) e inteligência artificial (*AI*<sup>4</sup>)”.

Contudo, tão somente conhecer as tecnologias englobadas pela Indústria 4.0 não é o bastante. É necessário compreender qual a utilidade destas tecnologias de ponta em consonância com a criatividade, a fim de que se tenha maior controle dos métodos e processos, e, conseqüentemente, agregue-se um maior valor aos clientes (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Com relação à utilização das tecnologias de ponta aliadas à criatividade, Mogos *et al.* (2018) defende que a falta de recursos financeiros pode ser o impulso

---

<sup>3</sup> ML: Sigla em inglês para “*Machine Learning*”, cujo significado é aprendizado de máquina.

<sup>4</sup> AI: Sigla em inglês para “*Artificial Intelligence*”, cujo significado é inteligência artificial.

inicial para o emprego de tecnologias no âmbito universitário. Afinal, são estas tecnologias que muitas vezes trazem soluções e viabilizam o ensino diante de orçamentos exíguos.

Desta forma, no contexto da engenharia, o manuseio das tecnologias é primordial para o desenvolvimento das habilidades necessárias na era da Indústria 4.0, afinal, esta adaptação torna-se parte de “suas tarefas diárias” (ELIZONDO; REYES, 2023, p. 2). Além disso, apenas ter o conhecimento das tecnologias específicas não é o suficiente, sendo indispensável a habilidade de trabalhar de maneira global perante um cenário pluritecnológico (PRIETO *et al.*, 2019).

Com relação aos benefícios da utilização destas tecnologias, pode-se elencar os baixos custos e riscos, a não exigência de uma enorme quantidade de equipamentos e espaço físicos, bem como a mobilidade que algumas tecnologias disponibilizam ao permitirem o acesso em qualquer hora e/ou lugar (CABALLERO *et al.*, 2020). Quanto ao benefício de mobilidade, ela foi necessária durante o período da COVID-19, ou seja, os usuários já estão habituados a terem que utilizar da tecnologia, mesmo que tenham aprendido de maneira compulsória (ALAKRASH; RAZAK, 2021).

Portanto, diante da indispensabilidade da tecnologia, tanto nas relações cotidianas quanto na esfera da produtividade industrial, o desenvolvimento e emprego das novas ferramentas e tecnologias de digitalização são fundamentais para encarar os desafios da Indústria 4.0. (GOLDIN *et al.*, 2022).

#### 2.1.1.1 Internet das Coisas (IoT)

No âmbito das Tecnologias da Indústria 4.0, o conceito de Internet das Coisas (IoT) surge como propulsor da criação de fábricas inteligentes. Esta ferramenta tecnológica serve “para criar uma empresa de manufatura digital que não só está interconectada, mas também se comunica, analisa e usa informações para promover outras ações inteligentes no mundo físico” (PROMYOO *et al.*, 2019, p. 1).

Assim, a ampla digitalização possibilita a interatividade de máquinas e equipamentos com a tecnologia da Internet das Coisas, a fim de que os processos industriais sejam facilitados. Deste modo, a utilização da computação por meio de dispositivos conectados, promove a comunicação entre objetos inteligentes (PRIETO *et al.*, 2019).

Portanto, da mesma forma que esta comunicação tecnológica facilita os processos industriais, ela também precisa ser gerenciada para existir assertividade no nível de decisão. Posto isso, “Essa implementação de tecnologia implica o acesso a vários serviços para fábricas mais eficientes e competitivas.” (PRIETO *et al.*, 2019, p. 4).

O seguinte tópico discutirá sobre a tecnologia de Simulação.

#### 2.1.1.2 Simulação

Exemplo de tecnologia aplicada à Indústria 4.0 é a simulação. Capaz de materializar um ambiente realista de aprendizado (VU, 2018), esta tecnologia possibilita simular plantas e até mesmo uma linha digital (PROMYOO *et al.*, 2019).

Neste sentido, Mourtzis *et al.*, (2021), defende que com a simulação “os alunos podem aprender, entender e compreender o comportamento do sistema mais rapidamente em um ambiente controlado e orientado por simulação”. Desta forma, estudantes de engenharia, bem como profissionais da área, podem ser beneficiados por estes ambientes de experimentação e testes, tornando o aprendizado mais eficiente e veloz.

Destaca-se que tais simulações interativas possibilitam a substituição de ambientes reais de experimentação, como os espaços físicos de laboratórios, e podem ser gerenciados local ou remotamente (TERKOWSKY *et al.*, 2019). Por fim, ressalta-se que a simulação tem a capacidade de tornar os processos produtivos mais seguros e aferir os aspectos de segurança de um Sistema, vez que consubstancia de forma legítima uma interação controlada (QIAN *et al.*, 2023).

A próxima tecnologia aludida será a Realidade Aumentada.

#### 2.1.1.3 Realidade Aumentada

Outra espécie de tecnologia utilizada na Indústria 4.0 é a Realidade Aumentada, a qual corresponde a “um método alternativo de percepção do mundo real ao redor” (GURIDI *et al.*, 2022, p. 4), possibilitando, assim, a construção de um mundo digital que reflete de forma viva o mundo real (VU, 2018).

Devido a esta capacidade de materialização do digital no real, a Realidade Virtual figura como um instrumento valioso na educação e aperfeiçoamento do trabalho e da socialização (MOGOS *et al.*, 2018). Assim, como explana Guridi *et al.*

(2022, p. 7), tal tecnologia torna-se útil “não apenas nos estágios de projeto, mas também no treinamento de operadores em processos de montagem, permitindo a interação segura com o produto antes do comissionamento”.

No ambiente acadêmico, a Realidade Virtual ou Realidade Aumentada funciona como um alicerce na educação de novos engenheiros, ao consistir em uma ferramenta importante para os processos produtivos (CABALLERO *et al.*, 2020). Nesta linha, Caballero *et al.* (2020, p. 18) defende, também, que tal tecnologia “desempenha um papel muito importante no controle de qualidade, na identificação de falhas, nos manuais de informações, bem como nos cursos de treinamento e gerenciamento”.

Exemplificando, o supracitado autor cita o desenvolvimento de um manual de Realidade Aumentada, evidenciando o funcionamento de um motor de quatro tempos. Assim, “As informações são apresentadas de forma interativa, tornando a experiência mais imersiva, com a ajuda de modelos 3D do motor e de suas peças individuais” (CABALLERO *et al.*, 2020, p. 16).

Contudo, há que se destacar que este modelo tecnológico traz desafios, devido à necessidade de utilização de hardware e do manuseio de equipamentos físicos (MOGOS *et al.*, 2018).

A tecnologia subsequente se refere-se a Nuvem.

#### 2.1.1.4 Nuvem

Haja vista a grande utilização de novas tecnologias na busca pela flexibilidade do aprendizado e da maior eficiência do sistema produtivo, a Indústria 4.0 vale-se de tecnologias que corroborem para o compartilhamento de informações. Neste âmbito, a computação em nuvem surge como um recurso capaz de gerar, armazenar e compartilhar dados (GURIDI *et al.*, 2022).

Esta estrutura possibilita no modelo de Educação 4.0, especialmente na formação de novos engenheiros, o compartilhamento e revisão constantes de dados e trabalhos (GURIDI *et al.*, 2022), e até mesmo a substituição de sistemas tradicionais de gestão de aprendizagem (MOGOS *et al.*, 2018).

Assim, a computação em nuvem torna-se muito importante na Indústria e Educação 4.0 por permitir que ações de projetos sejam executadas simultaneamente

e de forma cooperada pelos alunos ou profissionais envolvidos, colaborando para que o gerenciamento e a disseminação de dados (MOURTZIS *et al.*, 2021).

A quinta tecnologia no portfólio da Indústria 4.0 chamam-se Robôs.

#### 2.1.1.5 Robôs

Exemplo de tecnologia revolucionária na esfera da Indústria 4.0 é a utilização de robôs autônomos, os quais permitem movimentar materiais sem necessidade de interferência humana, ao conseguirem captar a distância de objetos dispostos no ambiente até mesmo em movimentação. Para isto, eles se valem de sistema de localização para percorrerem caminhos e realizarem tarefas (BRAUN *et al.*, 2022).

Conforme assevera Guzman (2019), estes apetrechos substituem a mão de obra humana ao realizarem as atividades através da automatização.

Quanto a esfera de formação de novos engenheiros, os robôs autônomos possibilitam a facilitação na resolução de atividades, promovendo, assim, um ensino mais produtivo e ágil (MOGOS *et al.*, 2018). E neste quesito, faz-se importante o contato com o ambiente real de desenvolvimento e implementação desta tecnologia.

Assim, como pontua Braun *et al.* (2022), a competição de robótica denominada *Portuguese Robotics Open* propõe-se a estimular a iniciativa dos estudantes no desenvolvimento da operacionalização automática de transporte interno de materiais por meio dos robôs, através da disponibilização de cenários de simulação. A organização do evento propicia aos participantes cenários virtuais para serem realizados testes, “dando aos participantes uma maneira prática e realista de validar suas soluções e metodologias de software durante o desenvolvimento” (BRAUN *et al.*, 2022, p. 8).

Logo em seguida, vem a tecnologia de grandes dados, ou comumente chamada de *Big Data*.

#### 2.1.1.6 Big Data

A Indústria 4.0 pressupõe a geração de inúmera quantidade de dados. Sendo assim, devido a esta demanda, o Big Data surge com o intuito de processar, organizar e compreender as informações decorrentes dos dados (MOGOS *et al.*, 2018).

Embora haja um grande fluxo de dados, apenas a geração deles não é suficiente, tornando-se necessária a confiabilidade e a boa estruturação destes (HASHMI *et al.*, 2021). Assim, quanto melhor o processamento dos dados, maior a taxa de precisão das informações decorrentes dos mesmos (VU, 2018), logo, maior a garantia da qualidade (HASHMI *et al.*, 2021).

Ponto que merece destaque é que, além da fidedignidade dos dados, é fundamental a garantia de segurança do sistema de intercâmbio de dados (GOLDIN *et al.*, 2022). Com relação à segurança dos dados, Mourtzis *et al.* (2021) afirma que se faz necessária a utilização de protocolos de segurança que, em suma, faça a pictografia dos dados de ponta a ponta.

O acesso aos dados confiáveis e de maneira responsiva, tem o poder de afetar diretamente os processos industriais e no auxílio da tomada de decisão (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022). Sendo assim, a Indústria 4.0, através do Big Data, torna as empresas que se valem desta tecnologia muito mais competitivas e flexíveis (INGALDI *et al.*, 2023).

A penúltima tecnologia explanada denomina-se de tecnologia háptica.

#### 2.1.1.7 Tecnologia Háptica

Um espécime tecnológico explanado por Noguez (2021) é a tecnologia háptica, a qual traz aos usuários a experiência sensorial do tato. O ambiente no qual os ensaios visuo-hápticos são realizados, consiste em bloco em um declive em superfície irregular (NOGUEZ *et al.*, 2021).

Os critérios utilizados para valer-se da tecnologia háptica dizem respeito à complexidade da compreensão dos conceitos estudados, desde que este recurso verdadeiramente facilite o aprendizado. Exemplos de áreas onde esta tecnologia é aplicada são a aviação, a medicina cirúrgica e a odontologia (NOGUEZ *et al.*, 2021).

Contudo, há dificuldades na implementação da tecnologia háptica, dentre as quais cita Noguez (2021) a dificuldade em projetar uma experiência fidedigna à realidade e o longo período necessário ao desenvolvimento e implementação.

Por fim, vem a tecnologia de Gêmeo Digital.

### 2.1.1.8 Gêmeo Digital

O Gêmeo digital caracteriza-se por ser mais que uma simulação, mas uma virtualização de um ambiente real. Através desta virtualização, esta tecnologia produz uma riqueza de informações sobre o estado atual de um experimento, ao permitir a representação, visualização, simulação, análise e otimização de diferentes processos industriais (GEUER *et al.*, 2023).

Essa tecnologia pode ser usada para entender melhor a estrutura de um sistema, bem como seu comportamento e as limitações em diferentes cenários (MOURTZIS *et al.*, 2021).

Para processos educacionais, Geuer *et al.*, (2023) defende que o uso de gêmeos digitais oportuniza a execução de experimentos realistas que não seriam possíveis devido a normas de segurança ou falta de equipamentos, sem que exista um risco de sofrer as consequências advindas do manuseio incorreto.

## **2.2 Desafios de implementar a indústria 4.0**

Com relação aos desafios enfrentados para implementar as tecnologias anteriormente citadas na Indústria 4.0 tem-se que cada uma possui suas próprias particularidades, assim, empregá-las em um mesmo sistema representa desafios enormes para cada instituição (MOGOS *et al.*, 2018).

Mogos *et al.* (2018) defende que, dentro destes desafios, a quantidade de dados complexos nos sistemas gera uma preocupação quanto a sua privacidade. Para isso, é preciso criar políticas de segurança bem formuladas, a fim de que os dados sejam confiáveis (MOGOS *et al.*, 2018).

Outro desafio a ser enfrentado trazido por Vu (2018) é referente a necessidade de adaptação, pois, as novas forças de trabalho precisam se atualizar à mesma taxa na qual a indústria se desenvolve.

Entretanto, esta adaptação e capacitação da mão de obra trabalhadora torna-se uma provocação diante dos sistemas de ensino atual, os quais são inflexíveis e desatualizados, sendo necessário pressionar as instituições, a fim de que se torne viável o desenvolvimento de um ambiente de aprendizagem (VU, 2018).

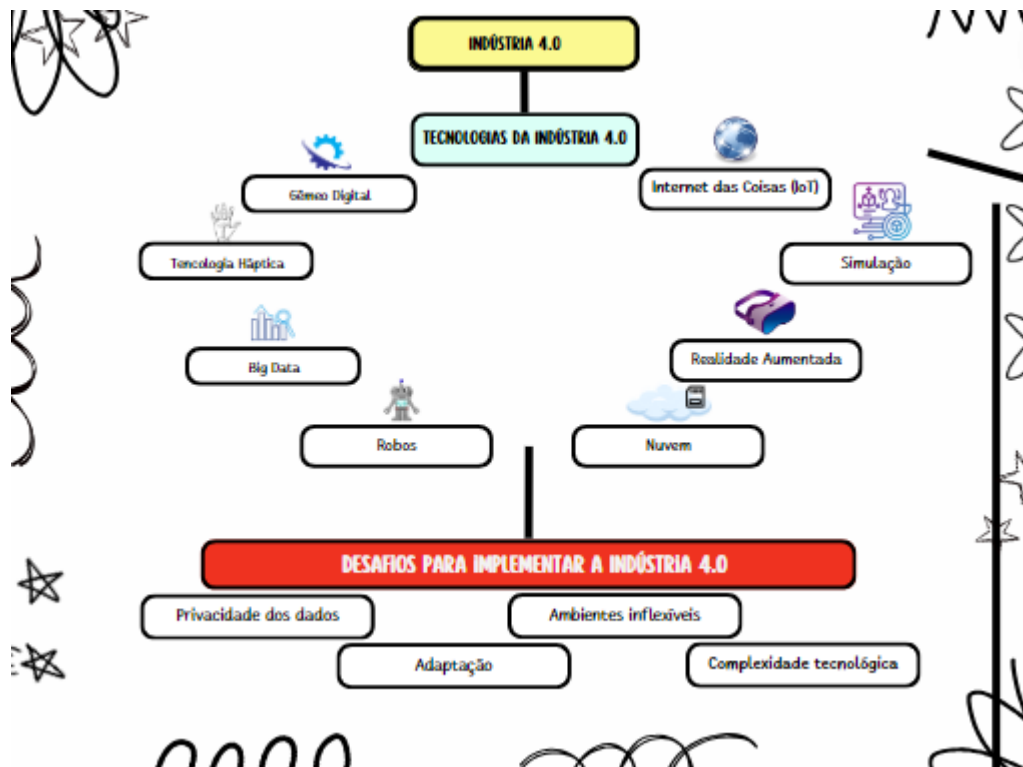
Adicionalmente, Mogos *et al.*, (2018) ressalta o obstáculo que há ao lidar-se simultaneamente com diferentes tecnologias. Quanto a este quesito, ele destaca o aumento da complexidade dos ambientes diretamente proporcional ao aumento da quantidade de espécies de tecnologia. Logo, caso o objetivo seja a obtenção dos melhores resultados com a Indústria 4.0, recomenda-se a utilização de apenas uma tecnologia.

Além disso, no ambiente da Indústria 4.0 as tecnologias se renovam constantemente, o que pode se tornar um impedimento às indústrias. Afinal, é inviável que as instituições façam a aquisição de novos dispositivos cada vez que uma atualização tecnológica surgir (VU, 2018).

Por fim, Braun *et al.*, (2022, p. 5) destaca que, “dessa forma, pesquisadores e engenheiros devem propor soluções para enfrentar esses desafios, implementar o conceito I4.0 na vida real ou aprimorar as soluções já implementadas”, ressaltando a necessidade de protagonismo dos engenheiros atuantes na área.

A figura abaixo expressa o capítulo de Indústria 4.0 em síntese.

Figura 1 - Síntese da Indústria 4.0



Fonte: Autoria própria (2023)

Tendo mapeado os conceito e tecnologias da Indústria 4.0, passa-se para a próxima seção a fim de apontar as características relevantes do novo paradigma educacional, a Educação 4.0.

### 2.3 Educação 4.0

A Educação 4.0 tem suas origens na Indústria 4.0, por isso faz-se necessário compreender primeiramente a respeito da Indústria 4.0 para que depois possa ser esclarecido a Educação 4.0 (GOLDIN *et al.*, 2022).

Quanto a definição de Educação 4.0, ainda não existe uma definição coesa e unificada, mas as definições que existem se sobrepõem, oportunizando diferentes formas de se entregar educação (GOLDIN *et al.*, 2022).

O tema Educação 4.0 continua em estágio de desenvolvimento, logo, o campo de pesquisa torna-se limitado, principalmente em países em desenvolvimento (DAO *et al.*, 2022).

Vu (2018, p. 2), define Educação 4.0 como sendo “um modelo que aplica os avanços da tecnologia da informação para atualizar a eficiência do treinamento e da educação, fazendo com que as atividades de ensino e aprendizagem aconteçam a qualquer hora e em qualquer lugar”.

A Educação 4.0 é chamada assim não irrefletidamente, mas sim pelo fato de ela ter se desenvolvido no cenário da quarta revolução industrial (JAM; PUTEH, 2022). Caballero *et al.*, (2020), aproveita o fato de estar passando por essa recente revolução e enfatiza a necessidade de uma adaptação gradual da educação 4.0, de modo que os estudantes sejam melhor preparados para o mercado de trabalho.

Existe a necessidade de preparar melhor e de maneira diferente a força de trabalho atualmente, pois, por mais que os métodos de ensinios tradicionais sejam maduros, não contemplam aspectos como motivação, interesse e até elementos como segurança (QIAN *et al.*, 2023).

A diferença na forma de se fazer educação, o jeito 4.0, está na mudança em direção à digitalização, uma nova forma de se estruturar e gerir a aprendizagem (MOURTZIS *et al.*, 2021). Os autores Grodotzki *et al.*, (2018, p. 11), traçaram algumas perspectivas a respeito da mudança de educação para educação 4.0: “ensinar o

conteúdo da indústria 4.0, como grandes análises de dados, automação e Internet das coisas”.

A Educação 4.0 não se difere da educação tradicional apenas no jeito de se fazer educação, mas ela afeta os objetivos de transferência de conhecimento; cujo principal objetivo é atingir a maior quantidade de pessoas, explorando as tecnologias e a inovação, intensificando as aptidões individuais (VU, 2018).

Segundo Goldin *et al.*, (2022, p. 2), “A Educação 4.0 tem como objetivo criar um paradigma educativo que prepare a força de trabalho de amanhã para os desafios futuros”. Essa afirmativa é apoiada por Lopez *et al.*, (2021), quanto a necessidade de preparação de profissionais capazes para os novos desafios, adicionando um elemento, a qual é a participação da indústria, para ser possível atingir esse objetivo, através da inovação.

Ainda na ponderação quanto aos objetivos, Jam e Puteh (2022) reafirmam que o principal objetivo da Educação 4.0 é a preparação de profissionais, alinhados as necessidades da indústria. E como na Indústria 4.0 é recorrente a mudança e aprimoramento tecnológico, desencadeia a necessidade de adaptações constantes por parte da Educação 4.0, principalmente no ensino de engenharia (MOGOS *et al.*, 2018).

O motivo pelo qual Indústria 4.0 e Educação 4.0 estão tão interligados, é pelo fato de que estudantes, mais especificamente engenheiros bem preparados, alavancarão a Indústria 4.0, e isso só será possível caso passarem pelos métodos da Educação 4.0 (PRIETO *et al.*, 2019).

Esses engenheiros precisam estar preparados para os desafios atuais, porém, com o “*mindset*” de que precisarão se atualizar constantemente, e isso passa pelo método educacional atual, enfatizar que o processo de aprendizagem precisa ser contínuo e motivador, só assim os profissionais conseguirão atender as exigências de atualização por parte do mercado (GUZMAN, 2019).

Essa preparação é facultada a Educação 4.0 e a utilização de suas tecnologias facilitadoras, pois, “permitem que o conhecimento seja transmitido de forma eficaz aos novos engenheiros, aumentando sua familiaridade com eles e criando uma imagem mais atraente” (MOURTZIS *et al.*, 2021, p. 3).

O aumento da atratividade, passa por aguçar o interesse por soluções tecnológicas e sua importância quanto a Indústria 4.0 (INGALDI *et al.*, 2023). Essa atratividade é acessível, basta ser estimulada, visto que muitas das tecnologias que

devem ser utilizadas na Indústria 4.0 já se encontram no dia a dia da sociedade (MOGOS *et al.*, 2018).

Com o avanço tecnológico, Educação 4.0 e Indústria 4.0 avançam concomitantemente, já que ambas estão estritamente ligadas (CHÁVEZ *et al.*, 2021). Contudo, segundo Mourtzis *et al.*, (2021, p. 5) “As tecnologias educacionais, como resultado do impacto da tecnologia da informação e da comunicação, representam uma ameaça ao sistema educacional ao romper as limitações da pedagogia tradicional”.

Por mais que pareça ser uma ameaça ao sistema tradicional, a Educação 4.0 vem para revitalizar o setor, tem sido aplicada por diversas universidades ao redor do mundo e conseguinte beneficiado principalmente o setor industrial local. Sem esquecer de mencionar, que a nova metodologia difere e destaca-se por dar ao aluno protagonismo, a possibilidade de executar na prática (PRIETO *et al.*, 2019).

Um contraste essencial entre a educação usual e a Educação 4.0 é que a 4.0 se apoia em tecnologias emergentes, destinada a solucionar problemas, já a usual é estática, acostumada com padrões bem estabelecidos (LOPEZ *et al.*, 2021). Em virtude da Educação 4.0 ser assim, precisa-se ser apoiada por dispositivos inteligentes que auxiliem na condução do aprendizado do aluno de maneira personalizada, capaz de maximizar a experiência (HADERER; CIOLACU, 2022).

Para o acompanhamento no desenvolvimento dos alunos a Educação 4.0 está sendo apoiada pela tecnologia de Inteligência Artificial, ela auxilia no planejamento de tarefas e separação dos tempos necessários aos estudos. De maneira prática os alunos inserem o plano de estudo passado pelos professores, e a tecnologia se encarrega em gerenciar e priorizar os compromissos de maneira personalizada, além de alertar o estudante caso o mesmo não esteja cumprindo com o cronograma estabelecido. Os benefícios que essa nova forma de condução dos estudos se reflete em menor tempo dedicado ao planejamento por conta dos alunos, maior organização das tarefas, menor estresse dos alunos por conta de ter claro o que é necessário fazer para ter êxito nos estudos, além disso, o professor pode acompanhar todo o desenvolvimento (HADERER; CIOLACU, 2022).

Assim como existem as facilidades advindas da Educação 4.0, também há os obstáculos que dificultam sua implementação, como a infraestrutura desigual das instituições de ensino e o comportamento distinto das pessoas para aderir à Educação 4.0 (ALAKRASH; RAZAK, 2021).

Adicionalmente, a ambientação com os processos digitais, a mudança da valorização de competências em vez de conhecimentos e a mudança de papel do professor para mentor caracterizam outros elementos que dificultam a implementação (GOLDIN *et al.*, 2022).

Um acontecimento que foi um desafio recente, mas que alavancou a Educação 4.0 foi a pandemia do COVID, pois, forçou a aprendizagem remota e híbrida e evidenciou a necessidade de gerar experiências desafiantes, ativas e experimentais para os alunos (GARAY *et al.*, 2021). “Com o surto de COVID-19, os educadores tiveram que se ajustar a essas abordagens baseadas na Indústria 4.0 mais rapidamente do que o esperado” (ALAKRASH; RAZAK, 2021, p. 1).

Anterior a pandemia, mas com características semelhantes devido às restrições causadas pelo terremoto de 2017 na Cidade do México, a toada foi a mesma, aprendizagem digital flexível e remodelação dos cursos, o modelo foi chamado de “Modelo Flexível Digital Tec21”, de certa maneira eles já tinham uma bagagem quando a pandemia se apresentou (GARAY *et al.*, 2021, p. 4). É preciso identificar as oportunidades e aplicar as tecnologias para tornar o Ensino Superior 4.0 (Educação 4.0) sustentável (CIOLACU *et al.*, 2023).

Segundo Mogos *et al.*, (2018), a Educação 4.0 é sustentável, uma vez que não precisa de grandes investimentos por parte das instituições para ser exequível, desde que se utilize de tecnologias como simulação, mundos virtuais e laboratórios virtuais ou remotos.

Ser exequível não significa que seja fácil, por ser necessário adaptação quase que imediata tanto nos modelos educacionais, nos currículos, na flexibilidade de alcance, nos perfis dos estudantes, dentre tantas outras variáveis, que a de se destacar que os estudantes poderão ser trabalhadores globais, tornando o ambiente educacional atual cada vez mais complexo (GUZMAN, 2019).

A responsividade da Educação 4.0 quanto ao ambiente complexo atual, passa pelo motivo de ser a própria Educação 4.0 o propulsor de novas revoluções industriais. (VU, 2018). E essa responsividade, passa por ser baseada em resolução de problemas reais, por meio de estratégias inovadoras e tecnologias disruptivas (LOPEZ *et al.*, 2021).

As mudanças provenientes das revoluções industriais, a mais recente 4.0, têm algumas temáticas, onde a automação e digitalização estão impactando o mercado, os engenheiros são fortemente envolvidos no processo (GRODOTZKI *et al.*, 2018).

Logo, a Educação 4.0 é crucial nesse contexto para: remodelar o processo de aprendizagem, ser melhor compreendida, ter maior aceitabilidade, melhor absorvida e aplicável pelos estudantes (MOGOS *et al.*, 2018).

A seção adjacente trata especificamente sobre as características da educação, mais propriamente a Educação 4.0, no cenário de Indústria 4.0.

## **2.4 Características da educação 4.0 para a Indústria 4.0**

Com relação a esta educação em engenharia voltada para a Indústria 4.0, tem-se que aspira proporcionar mudanças profundas nos modelos de ensino e capacitações tradicionais (VU, 2018). Sendo assim, o objetivo é de viabilizar novos recursos tecnológicos e estratégias na aprendizagem, tais como a utilização de realidade aumentada, simulação, gamificação, entre tantas outras modalidades de tecnologia voltadas à educação (GARAY *et al.*, 2021).

Quanto a isso, Ciolacu *et al.*, (2023), defendem que esta alteração no paradigma educacional será “baseada em quatro pilares: o novo normal, a mudança tecnológica, a experiência do aluno e a sustentabilidade [...]”.

Desta forma, para que tais adequações e inovações sejam implementadas no sistema educacional atual, há que existir uma adaptação e preparo de todos os envolvidos, de docentes a discentes. Nesta mesma linha, Jam e Puteh (2022), levantam questionamentos fundamentais, tais como “Que tipo de preparação devem ter os educadores, universidades e a indústria? Além disso, como a preparação deve ser aplicada?”.

### **2.4.1.1 Educação flexível**

A Educação flexível permite o acesso a inúmeros usuários, uma maneira de se entregar a maior quantidade possível de pessoas é através do (Moocs), uma sigla que significa Cursos online abertos em massa, isso ocorre na web (MOGOS *et al.*, 2018). Isso é reforçado por Goldin *et al.*, (2022), devido ao fato de que a flexibilidade depende do alcance.

Uma característica marcante na Educação flexível é que além de ela estar disponível, segue-se a premissa que deve ser a qualquer hora ou lugar; isso só é possível quando apoiada por tecnologias emergentes (DAO *et al.*, 2022). Devido ao acesso às tecnologias emergentes têm-se a flexibilidade da utilização de novas e diversificadas fontes de informação (GOLDIN *et al.*, 2022).

“Nos últimos anos, o rápido desenvolvimento das tecnologias de comunicação e dos sistemas deram origem a formatos inovadores de multimídia adequados para a educação a distância” (GURIDI *et al.*, 2022, p. 3). Essa comunicação mais assertiva devido às tecnologias traz ao *e-learning* pessoas mais flexíveis a aceitar o modelo, por conta da atratividade e facilidade de compreensão (INGALDI *et al.*, 2023).

Ademais da flexibilidade do ensino online, é possível atingir a flexibilidade utilizando-se do ensino híbrido, com a correta distribuição entre aulas online e presenciais (RAMIREZ *et al.*, 2018). Obtendo grande potencial para adquirir novos conhecimentos e habilidades (MOURTZIS *et al.*, 2021).

Para se ter a distribuição online da educação eficiente é necessário que se tenha recursos básicos como conexão estável e confiável, software de aprendizagem adequado, habilidades digitais mínimas e crescentes exposições a tecnologia (MOURTZIS *et al.*, 2021).

A educação só pode ser online e flexível se empregar o armazenamento em nuvem, ao ser ela que garante a possibilidade de acesso à transferência de conhecimento independentemente do local e hora, basta-se ter conexão com a internet (ALAKRASH; RAZAK, 2021).

Por fim, quanto aos benefícios que a educação flexível traz é a garantia de maior controle do aprendizado, isso se dá pelo fato de que os alunos podem acompanhar as aulas e fazer os trabalhos segundo os seus ritmos, dando aos alunos com uma velocidade de compreensão mais lenta a possibilidade de visitar as aulas para captar os conceitos novamente (ALAKRASH; RAZAK, 2021).

Além disso, permite aos alunos a auto-organização de suas tarefas, autorresponsabilidade e um ensino significativo (RAMIREZ *et al.*, 2018). Quanto a auto-organização e priorização de atividades que geram maior responsabilidade, pode ser auxiliada quanto ao planejamento e acompanhamento pela inteligência artificial, que confere maior flexibilidade ao ensino conforme as disponibilidades e necessidades dos alunos (HADERER; CIOLACU, 2022).

#### 2.4.1.2 Educação mais imersível

A Educação 4.0 tem a condição de ser imersível, uma experiência 360°, essa prática visa que os estudantes sejam agentes de mudança, isso é efetuado mediante a integração total com os cenários e propósitos claros de aprendizagem (GUZMAN, 2019).

Há a necessidade de que os engenheiros sejam treinados através das tecnologias imersíveis, porque é através delas que eles obterão o perfil adequado para lidar no ambiente industrial (CHÁVEZ *et al.*, 2021). Um meio que proporciona ainda ao nível de graduação que engenheiros possam ser imersos em atividades que abordem conceitos, mas de maneira prática são os projetos; capaz de desenvolver o sistema psicomotor dos alunos (JAM; PUTEH, 2022).

Dentre as tecnologias, a que mais se enquadra na característica de imersibilidade é a Realidade Aumentada (CABALLERO *et al.*, 2020). Mas não é a única, uma vez que, Internet das Coisas, Nuvem, Realidade Virtual, entre outras propiciam a imersões complementares (VU, 2018).

Um exemplo prático da aplicação de Realidade Aumentada que proporcionou a imersão é trazido por Caballero *et al.*, (2020), um projeto sobre os princípios do motor de quatro tempos, mais especificamente o fenômeno físico do ciclo termodinâmico de Otto. Algo que tem alto nível de complexidade na parte teórica, torna-se mais palatável através do conteúdo multimídia mostrando a animação do motor, com possibilidade de interação mediante botões que levam os usuários a diferentes cenários pelas partes do motor.

A característica de imersão pode ser apoiada por Óculos Virtual, controladores de movimento, fones de ouvidos, dentre outras ferramentas, mas os mesmos podem causar desorientação dos usuários, o que pode ser passageiro, principalmente a indivíduos que não estão acostumados com esses tipos de ferramentas (CHÁVEZ *et al.*, 2021).

Por último, a tecnologia Gêmeo Digital, indispensável as universidades tecnológicas já que é um pilar da Indústria 4.0. Ela simula cenários que colocam os acadêmicos em contato com tarefas envolventes e passíveis a situações de ambiente controlado e seguro (MOURTZIS *et al.*, 2021).

### 2.4.1.3 Educação personalizada

A educação personalizada é a captação de variáveis importantes e intrínsecas de cada aluno para ajudá-lo no processo de aprendizagem (MOURTZIS *et al.*, 2021). O processo personalizado proveniente da Educação 4.0 deve romper com as estratégias dos métodos tradicionais, empregar atividades e tecnologias que possibilitem aos alunos um aprendizado oportuno (NOGUEZ *et al.*, 2021).

Mogos *et al.*, (2018), ressalta a necessidade de utilizar tecnologias no desenvolvimento do sistema educacional adaptativo aliado com a internet para obter conectividade, aperfeiçoando o aprendizado. Na mesma linha de pensamento, Mourtzis *et al.*, (2021, p. 12) afirma que “O uso da tecnologia na educação, bem como a complementaridade de espaços de aprendizagem à distância e presencial, abre novas possibilidades para personalizar a educação e tornar o aprendizado mais atraente”.

Além da adaptação na educação ser atraente, ela é urgente. É notório que o setor industrial está passando por um momento de intensas adaptações devido a massivas pressões por digitalização, logo, a educação precisa ser personalizada porque o mercado é altamente volátil e adaptável, não pode se dar o luxo de continuar com processos educacionais rígidos e inflexíveis (PRIETO *et al.*, 2019).

Visando romper com esses processos rígidos, a Educação 4.0 tem focado suas atenções nos alunos e suas necessidades, personalizando o processo de educação para que atenda suas especificidades (MOGOS *et al.*, 2018). Essa personalização se dá pela razão de que cada aluno difere, mesmo em uma situação em que dois alunos estejam dividindo a mesma sala de aula, ambos podem divergir em seus cursos, terem começados em semestres diferentes, estarem cursando cargas horárias distintas, um pode estar fazendo estágio enquanto o outro não, entre diversos outros exemplos que elucidam que ambos podem até estar no mesmo lugar, mas em condições totalmente dispare (HADERER; CIOLACU, 2022).

Uma forma democrática e personalizada é oferecer a educação no formato online, mas até desta forma precisa-se de adaptações. Para que ela seja absorvida da maneira correta se faz necessário dispor cada aula em no máximo um período de meia hora a fim de que os alunos consigam se concentrar, diferentemente do modelo usual e presencial ofertado por aulas extensas (ALAKRASH; RAZAK, 2021).

Já que o período dedicado as aulas são menores, abre-se espaço para ter suporte individualizado a todos os alunos, principalmente os que apresentarem maior dificuldade (ALAKRASH; RAZAK, 2021).

A educação personalizada traz um benefício especial, o acesso segundo a disponibilidade, isso torna-se inclusivo até para alunos que eventualmente se encontrem doentes (MOGOS *et al.*, 2018).

Os espaços virtuais colaborativos representam uma forma de vivenciar a educação personalizada, dentre os principais beneficiários desse tipo de espaço são os engenheiros, já que sua área de formação preconiza competências digitais (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Ao lado da personalização do processo educacional está a continuidade da aprendizagem, em outras palavras, ao longo da vida, tendo em vista haver mudanças com o indivíduo durante a vida, precisa-se de constantes personalizações na aprendizagem (GOLDIN *et al.*, 2022).

Em suma, a personalização na aprendizagem não figura mais como uma alternativa, mas sim como um princípio da Educação 4.0 (MOURTZIS *et al.*, 2021).

#### 2.4.1.4 Educação tecnológica

Esta metodologia de aprendizado do ensino superior planeja integrar o acesso à tecnologia com a educação (MOGOS *et al.*, 2018), a fim de que as habilidades dos novos engenheiros correspondam às expectativas e demandas do Setor 4.0 da indústria ascendente (CABALLERO *et al.*, 2020).

O modelo educacional que é voltado à tecnologia (JAM; PUTEH, 2022), traz aos alunos uma vivência prática que possibilite a compreensão de desafios reais do dia a dia da Indústria 4.0. Desta forma, “Os alunos podem explorar e se envolver em um ambiente tecnológico dinâmico para desenvolver seu potencial individual” (JAM; PUTEH, 2022, p. 5).

#### 2.4.1.5 Educação Inovadora

Uma educação inovadora visa melhorar a transferência de conhecimentos da engenharia tanto para o corpo docente, quanto para os alunos (GRODOTZKI *et al.*, 2018). Para tanto, compromete-se a abordar questões multidisciplinares e complexas, a fim de construir um ambiente educacional compatível com os desafios da realidade industrial (VU, 2018).

Neste aspecto, o objetivo principal é oferecer soluções reais e, ao mesmo tempo, inovadoras por meio da digitalização dos processos industriais (CIOLACU *et al.*, 2023), preparando os novos engenheiros para uma atuação criativa e fidedigna (LOPEZ *et al.*, 2021).

#### 2.4.1.6 Educação multidisciplinar

O mundo está passando por muitas transformações impulsionado pela Indústria 4.0, nesse contexto a educação precisa ser multidisciplinar, de modo que haja a colaboração de profissionais de diferentes áreas colaborando para resolver os desafios pungentes (RAMIREZ *et al.*, 2018). Sabendo-se disso, as academias devem fortalecer o ensino multidisciplinar, principalmente nos cursos de engenharia (PRIETO *et al.*, 2019).

A fim de que os estudantes se adéquem a característica multidisciplinar, as grades curriculares precisam mudar, proporcionando disciplinas intercambiáveis e o ambiente colaborativo da Indústria 4.0 (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Quanto a importância do ensino multidisciplinar se dá pelo fato de que os problemas são multidisciplinares e complexos, não cabe mais medir os alunos pela capacidade de adquirir conhecimento, mas sim a resolução de desafios (VU, 2018).

Esses problemas também podem ser entendidos como oportunidades, apresentando-se na concepção dos produtos devido a suas complexidades, pois os mesmos abrangem uma série de subsistemas e domínios de engenharia (PROMYOO *et al.*, 2019).

Os alunos só conseguirão lidar com a complexidade dos mercados e produtos se durante a graduação interagirem por meio de trabalhos em equipes

multidisciplinares, baseados em problemas reais e tecnológicos (ELIZONDO; REYES, 2023).

Uma forma de oferecer essa bagagem necessária aos alunos é por meio de projetos como equipes de competição, por exemplo, de veículos elétricos (LOPEZ *et al.*, 2021). Complementarmente, equipes de robóticas também podem oferecer a experiência multidisciplinar, dado que processo competitivo de robótica se envolve com conhecimentos de Engenharia, Matemática e Tecnologia (BRAUN *et al.*, 2022).

É primordial que nesses projetos haja a participação de professores de diferentes disciplinas, não somente os alunos de diferentes cursos, para as equipes poderem se desenvolver de maneira mais ágil e assertiva, reagindo com mais responsividade aos novos desafios (CIOLACU *et al.*, 2023).

Enfim, todo esse movimento da educação em prol da multidisciplinaridade visa atender as partes interessadas (HASHMI *et al.*, 2021). Em que o setor da Indústria 4.0 encabeça por oferecer e exigir posições profissionais multifuncionais (PRIETO *et al.*, 2019).

#### 2.4.1.7 Educação com caráter experimental

A característica de aprendizagem experimental, segundo Terkowsky *et al.*, (2019, p. 10) “permite a criatividade dos alunos, promove o aprendizado com os erros e incentiva a auto-organização no processo de aprendizado”. É importante porque maximiza o processo educativo, tendo em vista que, aprende-se mais da maneira experimental e interativa do que com palestras tradicionais (CABALLERO *et al.*, 2020).

Para que se tenha esse aprendizado experimental é necessário utilizar-se de subterfúgios como: aprendizagem baseada em problemas e projetos, programas de estágios e programas cooperativos (QIAN *et al.*, 2023). Sem esses elementos os programas acadêmicos podem não despertar o interesse dos alunos, pois só utilizam conhecimentos teóricos sem ter testes reais (LOPEZ *et al.*, 2021). Tendo isso em mente, os experimentos se tornam cruciais, “especialmente para a obtenção de experiência prática e experiências memoráveis” (GEUER *et al.*, 2023, p. 2).

Abrindo o caminho para os exemplos, Grodotzki *et al.*, (2018, p. 4), trazem o caráter experimental da educação, ao aplicarem na célula de teste tele-operatórias testes padrões como o “teste de tração e o teste de *cupping* realizado em amostra de

chapa de metal para determinar o comportamento elástico e plástico e a formabilidade do material da amostra”.

O segundo exemplo diz respeito de um carro controlado por rádio, onde os alunos testam soluções e compartilham os arquivos e informações pela nuvem com outras equipes (MOURTZIS *et al.*, 2021). Outro arquétipo é a competição, assim como na característica anterior estava presente, agora contribui para estimular o aprendizado prático/experimental (CIOLACU *et al.*, 2023).

Com a aprendizagem experimental os alunos aprendem mais do que com as aulas tradicionais e materiais bidimensionais (CHÁVEZ *et al.*, 2021). Os alunos se desenvolvem mais, ao terem uma infraestrutura ao seu redor, recebendo orientação exclusiva do facilitador industrial e realizando tarefas práticas, multidisciplinares e colaborativas (QIAN *et al.*, 2023).

Para arrematar a característica experimental, tem-se que, as habilidades práticas visam motivar mais os alunos e melhorar os desempenhos das equipes de alunos (KLEPPE *et al.*, 2022).

#### 2.4.2 Consciência por parte dos discentes

Sabendo-se de todas as características necessárias para que a Educação 4.0 seja implementada, parte-se para as responsabilidades, as abordagens necessárias dos diferentes agentes envolvidos no processo da Educação 4.0. Aos discentes a consciência que precisam estar preparados para a realidade das mudanças; ter a consciência coletiva que a mudança é uma realidade e saber que a era atual é de digitalização (GUZMAN, 2019).

A disposição para aprender continuamente é uma consciência crucial, uma vez que o cenário atual exige aprendizado ao longo da vida. Isso implica na habilidade de buscar ativamente conteúdos educativos por conta própria, recorrer às instituições de ensino quando necessário e manter a motivação para prosseguir com o aprendizado (MOURTZIS *et al.*, 2021).

Os alunos carecem de ter a consciência que devido a Educação 4.0, passam a assumir maior responsabilidade por seu próprio aprendizado, promovendo o protagonismo no processo educacional. Entretanto, essa autonomia não exclui a

importância de recorrer ao professor sempre que necessário, garantindo que o auxílio necessário esteja disponível para maximizar o crescimento acadêmico dos estudantes (GOLDIN *et al.*, 2022).

Desenvolver e adaptar-se às transformações digitais, elas ocorrem de maneira rápida e crescente, ao ritmo da Indústria 4.0, principalmente os engenheiros, tais devem se aprimorar em tecnologia como premissa de sua profissão (CABALLERO *et al.*, 2020).

#### 2.4.3 Abordagens necessárias aos docentes

Devido à Educação 4.0, faz-se indispensável a recalibração dos papéis dos docentes. Não basta mais serem apenas instrutores, mas sim facilitadores. Isso se dá pelo fato de que o acesso a conteúdos educativos é mais facilitado, sendo assim utiliza-se da tecnologia para potencializar o aprendizado, facilitando o caminho, não sendo mais o centralizador de todo conhecimento (ALAKRASH; RAZAK, 2021).

Os professores, assumindo esse papel de facilitadores ou mentores, retratam a mudança para um ensino mais colaborativo e com divisão de responsabilidades entre professores e alunos, com isso, os alunos têm maior autonomia sobre seus percursos educativos. Essas mudanças de incumbências tornam possíveis um ambiente de aprendizagem mais bem-sucedido (GOLDIN *et al.*, 2022).

Os ambientes de educação têm que ser pautados por Indústria 4.0, trazidos pelos professores, não só como uma abordagem rasa, mas de tal forma que além gerar nos alunos o interesse durante as matérias, estimule a capacidade de depois do período de formação continuar aprendendo, buscando se aprimorar. Isso envolve não só o processamento de informações por um período, mas sim uma mentalidade, o que é crucial para ambientes de engenharia (MOGOS *et al.*, 2018).

Tal mentalidade pode ser positiva e duradoura se os docentes considerarem a gestão da criatividade e a aplicação de práticas inovativas no trajeto de aprendizado, principalmente para conceitos complexos, o qual é o caso de conceitos de engenharia (GUZMAN, 2019).

Todavia, para que os professores possam compartilhar os conhecimentos, é necessário que eles os tenham, e não só de maneira teórica, mas também prática.

Logo, muitos precisam de requalificação profissional, adquirir novas competências a fim de maximizar o processo educativo, conseqüentemente potencializando o capital humano na graduação (GUZMAN, 2019).

A requalificação profissional se faz importante pelo motivo de que a qualidade dos formandos depende na maioria da qualidade de seus mestres, mesmo com a Educação 4.0 proporcionando mais independência aos alunos (JAM; PUTEH, 2022). Precisa-se treinar o educador antes mesmo de dar o encargo dele transmitir os conhecimentos de Indústria 4.0, nos parâmetros 4.0 da Educação (MOURTZIS *et al.*, 2021).

“Em particular, os professores precisam estar equipados com habilidades de treinamento digital e resolver problemas comuns em mundos virtuais” (VU, 2018, p. 13). O desenvolvimento profissional dos educadores deve ser focado em adquirir novas competências a fim de maximizar o processo educativo, conseqüentemente potencializando o capital humano na graduação (JAM; PUTEH, 2022).

Isso passa por obterem principalmente capacitação sobre Indústria 4.0, já que é uma realidade um tanto quanto recente, mas que impacta os alunos que abastecem a indústria (VU, 2018). De maneira geral, os professores devem estar de prontidão quanto as adaptações da Educação 4.0, serem treinados e requalificados conforme necessidade, e obterem experiências industriais (JAM; PUTEH, 2022).

Os educadores precisam ter experiências práticas, muito além dos livros. Principalmente se forem ligadas a indústria, isso não se trata de melhoria no ensino, mas considera como algo basilar, pelo menos uma experiência mínima de seis meses imersos na indústria para estarem aptos para lecionarem em cursos de engenharia (JAM; PUTEH, 2022).

Não é tão fácil convencer profissionais com tanta experiência no ramo que apesar de seus muitos anos lecionando é necessário adotar medidas diferentes para aprimorar o ensino, invariavelmente enfrentar-se-á resistência em aprender e aplicar novas ferramentas didáticas, fazendo necessário maior conscientização a esse público a respeito da importância da Indústria 4.0 e Educação 4.0, e menos apego as formas mais tradicionais (INGALDI *et al.*, 2023).

Em síntese, se os docentes estiverem cientes que tais adaptações são captais para o desenvolvimento da educação, por meio da Educação 4.0, irá proporcionar um ensino mais autêntico para os estudantes (VU, 2018). Com uma comunicação mais

robusta entre os alunos, visando o trabalho colaborativo (GUZMAN, 2019). Virtualmente acessível, individualizada e personalizada (MOURTZIS *et al.*, 2021).

#### 2.4.4 Abordagens necessárias as universidades

Os atores principais que tomam as decisões sobre as prioridades que precisam ser executadas são os gestores universitários. No contexto de Indústria 4.0 e cenários em transformação, a migração da educação tradicional para a Educação 4.0 exige coragem para os mesmos aderirem à mudança. Precisa ocorrer uma transformação de mentalidade, assumir riscos com as metodologias em desenvolvimento e considerar que tal medida pode ser uma oportunidade de crescimento institucional (MOGOS *et al.*, 2018).

Para serem tomadas decisões assertivas faz-se importante dialogar com autoridades educacionais da região onde a universidade está situada. O objetivo dessa conversa é chegar a denominadores em comum quanto a práticas e experiências estratégicas (MOURTZIS *et al.*, 2021).

É fundamental o baluarte do conselho administrativo universitário, ao terem influência nas decisões universitárias, tanto que o apoio financeiro está ligado ao orçamento da instituição e precisa de aprovação (MOGOS *et al.*, 2018).

Essa movimentação e desconforto para o sistema de educação se dá realmente pela indústria 4.0 e exige que se adapte rapidamente (VU, 2018). As entidades educacionais precisam se adaptar, não podem se dar ao luxo de estagnarem frente as necessidades de capacitação profissional (GUZMAN, 2019).

A adaptação se mostra uma medida importante, pois, as universidades precisam ser relevantes frente aos anseios da sociedade. Dando aos indivíduos que estão no contexto universitário acesso a tecnologias modernas da indústria, boa comunicação e personalização na educação, com a finalidade que eles sejam bem capacitados e isso retorne com valor agregado a sociedade (MOGOS *et al.*, 2018).

Caso não tiver responsividade para mudar o processo em direção a Educação 4.0 e aumentar a distância do ensino passado nas academias e as exigências do mercado, a pressão pode aumentar sobre as universidades, principalmente em meio a uma sociedade do conhecimento (VU, 2018).

Sendo relevante às universidades questionarem seus papéis quanto a capacitação profissional, o conteúdo e o método. Essa profunda reflexão auxilia para se chegar o quão mais próximo possível da abordagem de Educação 4.0 (GUZMAN, 2019).

Além de perspectivas, atitudes concretas precisam ser tomadas. É preciso que se disponibilizem condições para a educação digital, tal como disponibilização de internet, acesso a plataformas online e tecnologias digitais, e incentivo para trabalhar em novos ambientes (ALAKRASH; RAZAK, 2021). Em concordância, Guzman (2019) reforça sobre a necessidade de disponibilização de tecnologias de ponta, capacitação aos professores e ter como medida institucional a promoção da inovação e criatividade.

Não pensando somente na infraestrutura tecnológica, que é indispensável para se construir a Educação 4.0, mas também tendo olhos ao papel do ser humano, sua contribuição, levando em consideração que são eles que sofrerão os impactos das mudanças e somente eles podem suavizar os impactos e maximizar as experiências (GUZMAN, 2019).

Esse olhar ao fator humano começa pela qualificação dos educadores. Antes mesmo de oferecer aos alunos a Educação 4.0 precisa-se avaliar e capacitar os docentes para que eles estejam aptos, e que o processo de adaptação seja o mais fluido quanto possível (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022).

Ainda na perspectiva do fator humano, as universidades têm que observar os comportamentos dos alunos na aceitação do novo processo educacional, identificar e avaliar por meio de ferramentas se algum fator da Educação 4.0 está excluindo determinados tipos de alunos e aumentando o risco de evasão. Para que esse método educativo 4.0, ainda em fase de teste e desenvolvimento, não provoque a evasão estudantil, mas aprenda com os desconfortos e aprimore a metodologia (MOURTZIS *et al.*, 2021).

Em resumo, faz-se importante a adaptação na educação, bem como a forma que as políticas universitárias são tomadas, preferencialmente em direção à Educação 4.0 (GUZMAN, 2019). Essas adaptações precisam ser responsivas para preparar a força de trabalho (MOURTRIZ, 2021). Tal qual é crucial para o crédito e êxito das universidades (CIOLACU *et al.*, 2023). Na próxima seção será abordado os métodos de avaliação na Educação 4.0.

#### 2.4.5 Métodos de avaliação

A Educação 4.0, assim como os demais tipos educação, precisa de métodos para avaliar o desempenho dos alunos. Há perspectivas de se avaliar, mas a característica que a diferencia das demais é que a mesma tende a avaliar fatores práticos e comportamentais, não somente a capacidade de memorizar. Ela considera três elementos: conhecimentos, habilidades e atitudes. Os componentes de são aprendidos são testados na prática (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Conseguir medir habilidades e competência é algo desafiador, porém crucial para entender o comportamento e se está tendo progresso (LOPEZ *et al.*, 2021). O processo de avaliação, não é só complexo para os alunos, mas também para os professores. Nessa conjuntura de mudança de educação tradicional para Educação 4.0 os professores também precisam de ferramentas que os avaliem, de tal forma que eles cumpram o padrão para treinar uma mão de obra qualificada (JAM; PUTEH, 2022).

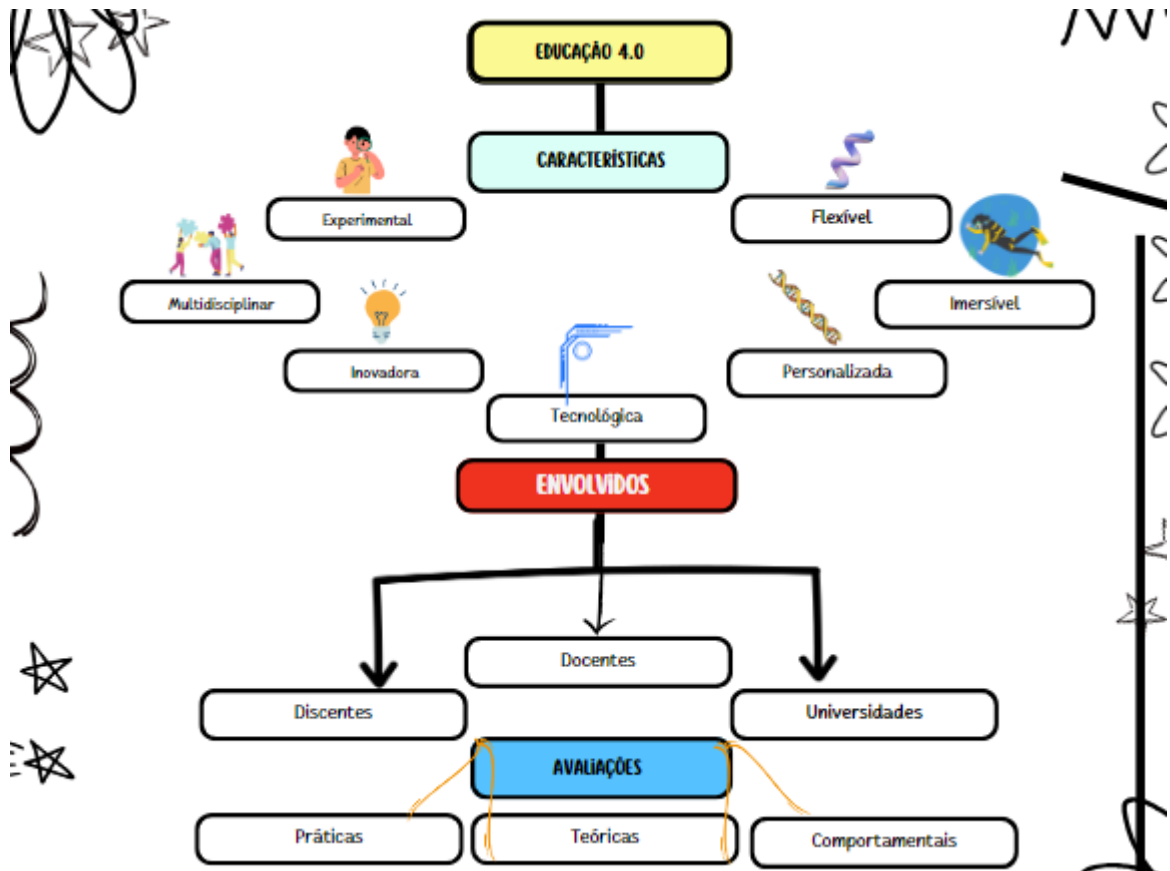
O processo de desenvolvimentos de competências 4.0 é incremental, então os métodos avaliativos têm que se adequar gradualmente (RAMIREZ *et al.*, 2018). Uma forma de distribuir a avaliação é dividi-la em avaliações práticas e teóricas, Garay *et al.*, (2021), efetua essa divisão percentualmente igualitária, 50% via provas de conhecimentos e aplicações de atividades, essa parte mais teórica, envolvendo atividades, questionários e relatórios; e a segunda metade das avaliações com o caráter mais prático das evidências de comportamento, aptidões e atitudes, englobando vídeos argumentativos, reflexões éticas e de cidadania.

Outra forma parecida é proposta por Prieto *et al.*, (2019), que mescla avaliações contínuas dos trabalhos realizados na célula mais testes sobre aspectos das tecnologias estudadas, serventias e o funcionamento da célula industrial.

Por fim, vale ressaltar que, como a Educação 4.0 pode ser entregue digital e remotamente, existem ferramentas para avaliar os procedimentos de segurança a fim de garantir a licitude do processo de avaliação realizado (GOLDIN *et al.*, 2022).

De maneira resumida consubstanciada a Educação 4.0 pode ser ilustrada conforme a figura 2, cujos elementos são: características, partes envolvidas e os métodos de avaliação.

Figura 2 - Síntese da Educação 4.0.



Fonte: Autoria própria (2023)

Após identificar as características essenciais da Educação 4.0, examinar os aspectos relevantes para as partes envolvidas e exprimir os métodos avaliativos pertinentes, segue-se para a próxima seção, a metodologia, descrevendo os procedimentos para a obtenção do processo de pesquisa acadêmico.

### 3 METODOLOGIA

Os procedimentos descritos a seguir buscam e selecionam trabalhos científicos. Para a revisão sistemática, visando à construção do portfólio bibliográfico entre três eixos de pesquisa, sendo: Indústria 4.0, Educação 4.0 e Engenharia, foi utilizada a metodologia “*Methodi Ordinatio*”.

Antes de se realizar as explicações pormenorizadas sobre a “*Methodi Ordinatio*”, faz-se importante realizar a classificação da pesquisa. A racionalidade humana tem uma inclinação natural para classificar, facilitando a organização e compreensão dos fatos por meio de sistemas classificatórios, que permitem identificar semelhanças e diferenças nas modalidades de pesquisa (GIL, 1999).

A presente pesquisa é classificada segundo seus propósitos mais gerais, mais especificamente como pesquisa exploratória. A investigação exploratória busca familiarizar-se com o problema de pesquisa, visando destacar possíveis abordagens; sendo possível ter a coleta de dados por meio de levantamento bibliográfico (GIL, 1999).

Sendo que a familiarização da problemática do trabalho é: Quais são os modelos de ensino 4.0 voltados ao aprimoramento dos engenheiros frente a indústria 4.0? as possíveis abordagens tratam-se dos modelos de ensino 4.0 voltados ao aprimoramento dos estudantes de engenharia; e o levantamento bibliográfico é realizado pela “*Methodi Ordinatio*”.

Um ponto a se destacar é que a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em materiais já publicados (GIL, 1999). Para evitar a propagação de erros advindo dessas fontes foi utilizado uma metodologia comprovada e bases de dados confiáveis.

A “*Methodi Ordinatio*” é uma metodologia multicritério de tomada de decisão, a fim de compor um portfólio bibliográfico de artigos científicos. Os três fatores mais relevantes para a escolha de um trabalho para a leitura são: o número de citações (Google Acadêmico), que demonstra o reconhecimento da comunidade científica em relação à importância da pesquisa; fator de impacto (métrica-JCR), que indica a relevância do periódico no qual o artigo foi publicado; ano de publicação, que aponta a atualidade do artigo (PAGANI *et al.*, 2015).

A metodologia é composta por nove etapas no total, as etapas 1, 2, 3 e 9 requerem como tecnologias da informação e comunicação um computador com

acesso à Internet e processador de texto. As demais etapas exigem adicionalmente gerenciadores de referências (os gerenciadores utilizados para a coleta dos dados foram o Mendeley Desktop e o Jabref) planilha eletrônica e processador de texto.

De maneira sintetizada, o Quadro 1 demonstra os nove passos e seus respectivos resultados.

**Quadro 2 - Passos da “Methodi Ordinatio”**

1-Intenção da Pesquisa	Identificar na literatura os modelos de ensino que contribuam na capacitação dos profissionais para a Indústria 4.0.
2-Dados Bibliográficos	Science Direct, Scopus e Web of Science.
3-Palavras-chave e combinações	"Education 4.0" AND "Industry 4.0" AND "Engineering".
4-Busca Definitiva	Utilização de gerenciadores de referências: Mendeley e Jab Ref. Retornando 91 trabalhos.
5-Filtragem	Excluir: trabalhos em duplicatas e não relacionados. Foram excluídos 32 trabalhos, sobraram 59. Aditivamente, foi selecionado somente os “ <i>research articles</i> ” e os “ <i>review articles</i> ”, restando 32 artigos.
6- Identificação do FI e número de citações	FI: JCR, no Scopus e planilha A5 <sup>5</sup> . Número de citações: Google Scholar.
7- Utilização da equação InOrdinato	Utilização da equação Inordinato = ( FI/1000) + (alfa * ( 10- (Ano Pesq- Ano Pub))) + ( Ci) Utilizando alfa como 10, por se tratar de tecnologia.
8- Localização dos artigos	Foram selecionados 32 artigos para o portfólio final.
9- Análise sistemática	Leitura dos artigos na integra, resenha, e análise sistemática.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

<sup>5</sup> A planilha A5 é uma planilha de Excel que contém os “*Journal*” de diversos países, bem como alguns dados como quantidades de citações e fator de impacto, entre outros. E é possível conseguir através do contato por e-mail: [methodiordinatio@gmail.com](mailto:methodiordinatio@gmail.com)

Os instrumentos de pesquisa foram as bases de dados: Science Direct, Web of Science e Scopus; que depois de algumas combinações de palavras-chave, a combinação escolhida foi a seguinte:

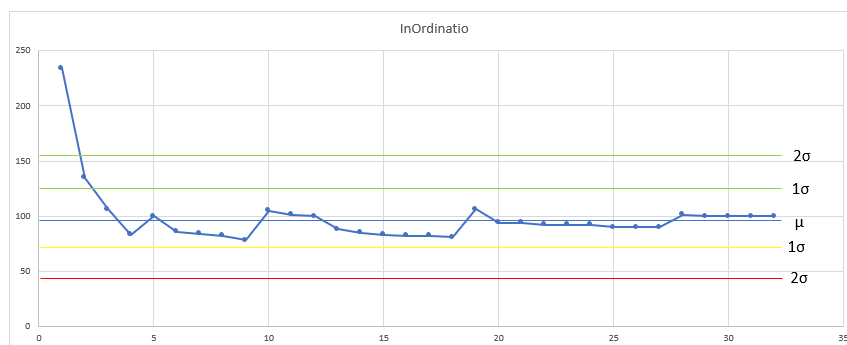
**Quadro 3 - Resultado bruto da busca sistemática**

Combination of Keywords	Science Direct	Web of Science	Scopus	Total
"Education" AND "Industry 4.0" AND "Engineering"	Search results: 9 TITLE-ABS-KEY: results found for pub-date>2018 "Education 4.0" AND "Industry 4.0" AND "Engineering"	Search results: 22 TITLE-ABS : results found for pub-date>2018 "Education 4.0" AND "Industry 4.0" AND "Engineering"	Search results: 60 TITLE-ABS-KEY: results found for pub-date>2018 "Education 4.0" AND "Industry 4.0" AND "Engineering"	91

Fonte: A autoria própria (2023)

Como critério de inclusão, foram selecionados somente os artigos de “research e review” e obras com o texto completo; na qualidade de critério de exclusão foi considerado a pontuação gerada pela equação “*InOrdinatio*”, mas estatisticamente nenhum artigo foi excluído por estar acima dos 2 desvios padrão em relação ao limite inferior. De maneira gráfica pode ser visualizado abaixo:

**Gráfico 1 - Score InOrdinatio dos artigos**



Fonte: A autoria própria (2023)

Haja vista que existe um “outlier” em meio aos artigos, esse ponto atípico se trata de uma obra com quase duzentas citações, o que fez com que seu score fosse alavancado.

Percebe-se pelo gráfico que a maioria dos artigos está em torno da média, isso se dá pelo fato de que as publicações dos artigos não têm uma amplitude tão

grande de anos de lançamento. Os artigos mais antigos nesse trabalho datam-se de 2018 até o ano corrente, 2023.

O fator de impacto varia entre eles, mas não de maneira significativa para gerar uma grande diferença no score. Então, o fator que mais diferencia-os é justamente o número de citações, enaltecendo o aspecto de sua relevância face à recorrência dada pelos autores.

Passando pela análise estatística e voltando-se para a “*Methodi Ordinatio*”, resultaram 32 artigos, relevantes e alinhados com a temática, que auxiliaram a preencher a lacuna de pesquisa sobre os processos educacionais que apoiam a capacitação para a Indústria 4.0.

Como procedimento de análise, foi realizada a leitura na íntegra dos artigos selecionados, plotando em editor de texto os principais pontos (nós) da temática, e consequentemente, a união desses “nós” para estruturação da lógica do trabalho, desta forma intenciona-se perfazer os objetivos específicos.

A fim de consubstanciar todos os conhecimentos construídos durante o trabalho, foi desenvolvido uma seção chamada proposições para a prática que visa responder à questão problema: Quais são os modelos de ensino 4.0 voltados ao aprimoramento dos engenheiros frente a indústria 4.0?

Antes dessa pergunta ser respondida na seção seguinte foi estruturado uma imagem com a visualização do mapeamento do trabalho e de todos os seus percalços:

Figura 3 - Estrutura do processo de pesquisa



Fonte: Autoria própria (2023)

Algumas das escolhas que precisaram ser tomadas no decorrer do trabalho envolve: área de atuação de Engenharia de Produção que será estudada, quais são os eixos de pesquisa, quais são as bases de dados direcionadas ao que se quer pesquisar, os melhores gerenciadores de referências disponíveis, como se desenvolverá a análise de conteúdo e os momentos de ajustes durante o desenvolvimento com a orientadora e a estruturação do trabalho.

Explicando a Figura, o primeiro retângulo amarelo envolve a decisão de qual área de Engenharia de Produção escolher entre as dez principais. Então, as figuras que estão ao seu lado respectivamente representam: Engenharia de Operações e Processos de Produção, Logística, Pesquisa Operacional, Engenharia da Qualidade, Engenharia do Produto, Engenharia Organizacional, Engenharia Econômica, Engenharia do Trabalho, Engenharia da Sustentabilidade, Educação em Engenharia de Produção. A área escolhida está em destaque e com a descrição.

Em seguida, a determinação foi quanto aos eixos de pesquisa, foi testado algumas combinações de eixos para que se chegasse a um número representativo de

artigos e alinhados com a intenção de pesquisa. E como mostra na figura, os eixos de pesquisa, expresso em palavras-chave são: Educação 4.0, Indústria 4.0 e Engenharia.

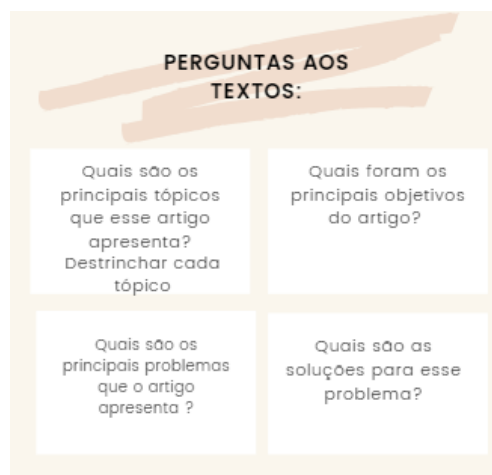
Para ser possível a extração dos artigos através da combinação das palavras-chave foi necessária pesquisar em bases de dados. O acesso foi feito remotamente, através do acesso concedido pela universidade. Escolheu-se as bases de dados por indicação de professores, com o seu vasto conhecimento de pesquisa recomendaram procurar nas bases: Science Direct, Scopus e Wef of Science; com a premissa que seriam as bases mais indicadas para um tema que envolvia educação e tecnologia.

Os gerenciadores de referências foram úteis para fazer a busca definitiva e como eles já disponibilizam acesso aos resumos, uma primeira leitura foi feita a fim de conhecer sobre a temática, o contato inicial. Ao mesmo tempo que eles permitiram auxiliar na filtragem de trabalhos duplicados e não relacionados.

Na fase de análise sistemática houve um trabalho um pouco diferente das demais etapas, ao ocorrerem ciclos de assimilação. Esses ciclos envolvem leitura sistemática dos artigos selecionados, durante a leitura ocorria a seleção dos principais tópicos ou nós que surgia, e como eles se relacionavam com os das leituras.

Algumas das perguntas que se visou responder com as leituras do texto está expressa na figura 4:

**Figura 4 - Perguntas aos textos**



**Fonte: Aatoria própria (2023)**

Em cima da desmembração de cada artigo foi extraído uma abundância de informações relevantes.

Após de inúmeros ciclos serem realizados, o trabalho começou a ter conteúdo, mas ainda não muito bem estruturado, o que foi necessária análise de todo

o material coletado. Uma espécie de banco de citações foi criada, para cada temática, ou nó encontrado o que os autores comentam sobre isso.

Depois das citações previamente organizadas pelos nós, a estrutura do trabalho ficou como mostrado na figura, com três grandes blocos: Introdução, Referencial Teórico e Resultados; bem como as suas sucessões.

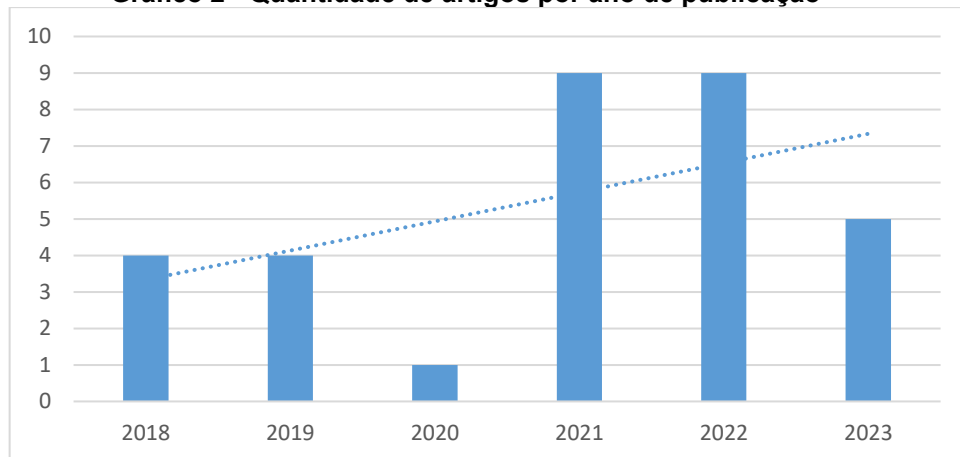
No próximo capítulo, 'Resultados', visa-se identificar os modelos de ensino 4.0 que aprimoram o aprendizado de engenheiros no contexto da Indústria 4.0, bem como assimilar as mudanças necessárias da composição dos novos currículos.

## 4 RESULTADOS

O propósito desta seção é a exposição dos resultados obtidos por meio da análise bibliométrica, a identificação dos modelos de ensino 4.0 que otimizam o processo de aprendizagem no contexto da Indústria 4.0, a absorção das alterações indispensáveis para a atualização dos currículos e a síntese abrangente de todos os conteúdos voltados para a aplicação prática.

Conforme mencionado na seção anterior, é importante notar que os artigos em análise não foram submetidos a um filtro específico de ano de publicação. No entanto, a interseção desses três domínios de pesquisa, a saber, Educação 4.0, Indústria 4.0 e Engenharia, é uma área de estudo recente, com os primeiros artigos datados a partir de 2018. Para uma análise mais detalhada da evolução ao longo dos anos, é apresentado o Gráfico 2, que demonstra a distribuição dos artigos por ano de publicação.

**Gráfico 2 - Quantidade de artigos por ano de publicação**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

É evidente que a temática em análise é relativamente recente, o que se reflete na quantidade limitada de publicações disponíveis. No entanto, é notável o crescimento acelerado, conforme indicado pela trajetória de tendência observada. Vale ressaltar a ocorrência de um valor atípico, abaixo da linha de tendência, em 2020, que merece uma análise mais aprofundada.

Além disso, é importante destacar que o ano de 2023, à primeira vista, parece divergir da tendência observada no gráfico. No entanto, essa aparente discrepância pode ser explicada pelo fato de que, as publicações referentes ao ano de 2023, abrangem apenas o primeiro trimestre. É razoável supor que, à medida que o ano

progride, a produção de publicações em 2023 possa superar o volume de 2022, alinhando-se à tendência de crescimento.

Quanto à origem dos autores e coautores das publicações nesta pesquisa, é notável que a maioria dos artigos incluídos foi contribuição do México, totalizando 10 publicações. Em seguida, destacam-se participações significativas da Alemanha, Estados Unidos, Romênia, Vietnã e Malásia, cada um com 3 ou 2 artigos, demonstrando uma representação diversificada de diferentes regiões do mundo. Além disso, é relevante mencionar que houve contribuições de vários outros países, com apenas uma publicação cada.

É digno de nota que, embora a temática tenha atraído contribuições de praticamente todos os continentes, a América do Sul parece ser uma exceção, uma vez que não foi observada nenhuma publicação dessa região. Para uma compreensão mais aprofundada da relevância dos países que contribuíram com publicações na área de estudo, apresenta-se o Gráfico 3.

**Gráfico 3 - Representatividade das publicações por país**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

O Gráfico 3 constitui-se da seguinte maneira: a “*Methodi Ordinatio*” classificou os artigos através da equação “*Inordinatio*”, atribuindo aos artigos um score; depois, foram separados os artigos das diferentes nacionalidades, então, somou-se os scores dos artigos de mesma nacionalidade, tendo assim um score total por país; em seguida plotou-se num gráfico de mapa para gerar a visualização do gráfico acima. Tem como



Destaca-se, ainda, a contribuição do autor Mogos, cujo trabalho foi amplamente explorado e integrado de maneira significativa no presente estudo.

Na seção subsequente, serão apresentados os modelos de ensino 4.0 que contribuem para o aprimoramento dos profissionais de engenharia no contexto da Indústria 4.0.

#### **4.1 Modelos**

Segundo Ramirez *et al.*, (2018, p. 5) precisa-se “gerar o modelo inovador de ensino-aprendizagem, com tecnologias suficientemente maduras e acessíveis para adaptá-las naturalmente em um ambiente pedagógico”.

Esse novo modelo, ou modelos educacionais voltados a engenharia devem considerar alguns aspectos fundamentais relacionados à aquisição de conhecimento e sua aplicação a uma variedade de desafios (GRODOTZKI *et al.*, 2018).

Devido a evolução da tecnologia da informação, por meio de ferramentas digitais, redes interconectadas e grandes volumes de dados, foi aberta a oportunidade necessária para a transformação dos métodos de organização e ensino (VU, 2018).

Aprimorar a aprendizagem por meio da tecnologia é uma área em desenvolvimento na educação em engenharia, apresentando diversas modalidades de implementação. Existindo um enfoque notável em métodos que incluem laboratórios remotos e virtuais, robôs educacionais, ambientes virtuais tridimensionais, cursos de massa online, bem como plataformas de e-learning que incorporam elementos de gamificação e simulação (MOGOS *et al.*, 2018).

“Algumas ferramentas digitais estão ainda a dar os primeiros passos, como os laboratórios virtuais e remotos e as ferramentas de aprendizagem baseadas em jogos” (GOLDIN *et al.*, 2022, p. 9).

Uma reformulação estrutural no âmbito educacional, através dos modelos de ensino, apresenta oportunidades de suprir, de forma didática, as demandas específicas das indústrias, promovendo uma sinergia mais eficaz entre o sistema de ensino 4.0 e as necessidades em constante evolução do setor produtivo (JAM; PUTEH, 2022).

Por fim, Mogos *et al.*, (2018), aplica a análise de swot para ilustrar o novo processo de aprendizagem:

Figura 6 - Análise de Swot



Fonte: Adaptado Mogos *et al.* (2018)

A figura acima demonstra pontos de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da abordagem interessante, mas complexa no processo de educação 4.0, onde os modelos estão inseridos (MOGOS *et al.*, 2018).

Na subsequente seção, adentra-se de fato nos modelos de educação 4.0.

#### 4.1.1 Parcerias externas

As parcerias externas podem ser entendidas como oportunidades profissionais que se estendem além do âmbito acadêmico das instituições de ensino superior. Essa forma de engajamento se manifesta durante o período de graduação e se destaca pela sua ênfase na aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em um contexto de trabalho, transcendendo assim o espaço convencional da sala de aula (ELIZONDO; REYES, 2023).

As empresas possuem um vasto potencial de contribuição ao fortalecer o ambiente de formação universitária. No entanto, é fundamental que a iniciativa de

estabelecer esse tipo de parceria seja originária das próprias instituições acadêmicas. Por meio dessa colaboração, é possível impulsionar o desenvolvimento dos recursos humanos, permitindo que os estudantes vivenciem experiências práticas em contextos industriais por meio de projetos concretos (VU, 2018).

As experiências práticas viabilizadas pela indústria não se limitam apenas à imersão no ambiente de trabalho, mas também englobam a valiosa oportunidade de acessar as tecnologias empregadas pelo mercado, criar cenários simulados e promover inovação de forma abrangente (MOGOS *et al.*, 2018).

“O aprendizado no local de trabalho pode melhorar o aprendizado no campus, oferecendo aos estudantes oportunidades de aplicar o conhecimento em sala de aula no mundo real e, em alguns casos, de aprofundar essa capacidade técnica” (VU, 2018, p. 16).

Um exemplo concreto de parceria externa com o setor produtivo industrial foi efetivamente implementado no Tecnológico de Monterrey, estendendo-se por seus 26 campi. Esse exemplo consiste em um projeto multidisciplinar direcionado a uma equipe competitiva encarregada do desenvolvimento de um sistema de suspensão para veículo elétrico. É relevante destacar que esse projeto incorpora elementos e competências da Educação 4.0 (LOPEZ *et al.*, 2021).

A parceria entre as instituições de ensino e a indústria proporciona benefícios não apenas para as universidades e seus alunos, mas também para o setor industrial local. Isso se deve ao fato de que as empresas podem empregar a mão de obra estudantil para realizar testes de conceito, pesquisas e inovações relacionadas a conceitos de fabricação automatizada que desejam implementar em suas instalações. Assim, essa colaboração se estabelece como uma via de benefícios mútuos (KLEPPE *et al.*, 2022).

Da mesma forma que existem benefícios na criação de parcerias entre as instituições de ensino e entidades externas, também existem desvantagens em não estabelecer essa relação, como no caso de acidentes. A desconexão entre a formação acadêmica e o ambiente de trabalho industrial real pode resultar na falta de conscientização e recorrência dos acidentes (QIAN *et al.*, 2023).

Além da colaboração entre a universidade e a indústria, surge um terceiro componente crucial para a formação da chamada 'aliança de hélice tripla', o governo. Por meio da interação e sinergia entre esses três agentes, torna-se viável a

capacitação da força de trabalho, alinhando-a com as vanguardas da digitalização e os avanços tecnológicos mais recentes (ELIZONDO; REYES, 2023).

Mediante essa interação, projetos compostos por equipes diversas podem se desenvolver, seguindo a abordagem da inovação aberta, o que se configura como uma excelente maneira de fomentar o crescimento da liderança e do empreendedorismo, visto que expõe os indivíduos a desafios (LOPEZ *et al.*, 2021).

Quando essas equipes heterogêneas participam de projetos multidisciplinares, abrangem todos os elementos essenciais para promover a colaboração entre universidades, instituições governamentais e indústrias (LOPEZ *et al.*, 2021).

Por último, a abordagem colaborativa adotada, que transcende as fronteiras e disciplinas universitárias, se revela como o enfoque apropriado para o desenvolvimento e a consolidação de conceitos inovadores. Isso prepara a geração de estudantes de engenharia para lidar com as tarefas complexas e variadas (GRODOTZKI *et al.*, 2018).

#### 4.1.2 Gamificação

O aprendizado baseado em jogos, também conhecido como gamificação, refere-se à aplicação de abordagens e elementos de design de jogos em diversas situações, com o propósito de envolver os estudantes no processo de aprendizado, bem como motivá-los e estimular sua participação. Esse sistema utiliza tecnologias eletrônicas para acessar conteúdos curriculares fora do ambiente da sala de aula tradicional, apoiando, assim, o processo de aprendizagem (MOGOS *et al.*, 2018).

As ferramentas de aprendizado embasadas em elementos lúdicos aproveitam a difundida popularidade dos jogos eletrônicos, com o intuito de promover uma abordagem interativa e envolvente para o processo de ensino-aprendizagem, direcionada ao público discente. Isso implica na utilização de princípios e mecânicas inerentes aos jogos de vídeo com o propósito de aprimorar a experiência educacional, incentivando a participação ativa dos alunos e, assim, proporcionando um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e eficaz (GOLDIN *et al.*, 2022).

A ilustração do emprego da gamificação como um paradigma de ensino pode ser encontrada no trabalho de Haderer e Ciolacu (2022). Eles apresentam um cenário

em que um painel integrado com inteligência artificial capacita o aluno a monitorar e visualizar seu próprio progresso e sucesso no processo de aprendizado em qualquer momento. Essa abordagem confere à experiência de ensino uma dimensão lúdica, assemelhando-se a um jogo, onde se busca evitar tanto o esquecimento das tarefas quanto o atraso em sua conclusão. Além disso, o sistema notifica o aluno sobre quaisquer atrasos no progresso de aprendizado por meio de mensagens de notificação.

Além disso, o sistema também inclui emblemas atribuídos a cada módulo, atuando como incentivos adicionais. Esses emblemas fornecem estímulos para a execução de tarefas cotidianas ao longo do semestre, efetivamente possibilitando um acompanhamento contínuo do progresso. Esse sistema é altamente dinâmico, permitindo que o aluno acompanhe seu desenvolvimento de forma constante, diferenciando-se da abordagem tradicional em que o indivíduo normalmente só é avaliado em momentos pontuais, como datas de provas (HADERER; CIOLACU, 2022).

Resumidamente, a gamificação enriquece o processo de ensino ao incorporar elementos diversos, como áudio, vídeo, dados táteis, gráficos e tecnologia de posicionamento global (GPS), com o intuito de proporcionar ao usuário a sensação de imersão em um ambiente semelhante ao mundo real. Essa abordagem tem aplicação potencial em diversas situações e cenários educacionais (MOGOS *et al.*, 2018).

O próximo modelo de ensino trata-se de Laboratório Remoto.

#### 4.1.3 Laboratório Remoto

Os laboratórios remotos representam ambientes de experimentação que se aproveitam da conectividade da Internet para controlar laboratórios físicos (reais) e dispositivos de forma mais econômica. Essa abordagem possibilita a condução de experimentos à distância, eliminando a necessidade de presença física, o que reduz custos e expande o acesso a equipamentos especializados (GOLDIN *et al.*, 2022).

Nesse contexto, os estudantes têm a capacidade de fazer uso dos equipamentos e monitorar as operações em andamento por intermédio de dispositivos como câmeras na internet, tablets, smartphones, e outros recursos semelhantes. Essa flexibilidade permite aos alunos a oportunidade de acessar, observar, simular e

adquirir conhecimento por meio de instrumentação profissional de laboratório de qualquer lugar e sempre que lhes for conveniente (MOGOS *et al.*, 2018).

Essa abordagem concede benefícios significativos tanto para os estudantes, ao facilitar o acesso a laboratórios, como para as empresas, uma vez que não se torna imprescindível a posse dos equipamentos em suas próprias instalações. Através de parcerias estabelecidas com instituições de ensino superior, as empresas conseguem compartilhar o acesso aos laboratórios, fazendo uso das instalações e dos dispositivos de outras entidades que oferecem todas as condições necessárias para a realização de experimentos e obtenção dos resultados desejados, tudo isso de forma remota (MOGOS *et al.*, 2018).

Os alunos têm a oportunidade de aprender a operar máquinas industriais remotamente, refletindo uma característica única da Indústria 4.0. Dessa forma permite-os assimilar mais profundamente as vantagens de diversos tipos de ensaios e formas de fazer, sem a necessidade de se preocupar com sua segurança, uma vez que não há interação física direta com a máquina (GRODOTZKI *et al.*, 2018).

Um exemplo de laboratório remoto é apresentado por Grodotzki *et al.*, (2018), que descreve a "célula tele operatória". Essa instalação pode ser acessada de qualquer lugar do mundo e tem como objetivo aprimorar a interação entre aluno e professor. Ela é projetada para realizar uma ampla variedade de experimentos, facilitando assim a transmissão de observações experimentais.

Outra vantagem apontada por Mogos *et al.*, (2018) em relação à implementação de laboratórios remotos reside na significativa redução dos custos que essas soluções podem proporcionar a instituições de ensino e empresas.

Essa economia de recursos financeiros é fundamental em um cenário em que as organizações buscam otimizar seus investimentos em infraestrutura e equipamentos laboratoriais. Os laboratórios remotos permitem o compartilhamento de custos, reduzindo despesas desnecessárias, aliviando a pressão financeira sobre as instituições e tornando a pesquisa e o ensino mais acessíveis. Além disso, a criação de configurações técnicas e o fornecimento de tecnologias de apoio em laboratórios remotos desempenham um papel crucial no avanço da pesquisa e desenvolvimento (TERKOWSKY *et al.*, 2019).

No entanto, os laboratórios remotos não são um modelo de ensino 4.0 perfeitos. Um dos desafios associados a essa abordagem reside na sua natureza

sistemática, que impõe um "caminho certo" para a implementação e avaliação, restringindo, assim, o leque de possibilidades e, conseqüentemente, reduzindo o potencial de inovação por parte dos alunos (TERKOWSKY *et al.*, 2019).

Outro desafio intrínseco aos laboratórios remotos e, de fato, ao ensino a distância como um todo, é a crescente probabilidade de "absenteísmo às aulas". Para mitigar essa questão, o sucesso do ensino online e a eficácia do processo de aprendizado estão inextricavelmente ligados ao comprometimento e à dedicação dos alunos fora do ambiente físico da sala de aula. Essa abordagem requer que os alunos demonstrem um alto nível de aprendizado ativo, assumindo a responsabilidade por sua própria educação e buscando ativamente o conhecimento, muitas vezes de maneira autodirigida (ALAKRASH; RAZAK, 2021).

Uma forma de contorna esses fatores adversos é se apoiar em três fatores, que segundo Terkowsky *et al.* (2019), podem auxiliar na superação dos desafios:

**Quadro 4 - Recomendações para superar os desafios**

1- Projetar ou incorporar o laboratório em um contexto interdisciplinar
2- Ter conexão com outros laboratórios em problemas comuns
3- Deixar os problemas teóricos e complexos, mais compreensíveis por meio do laboratório remoto

**Fonte: Adaptado de Terkowsky *et al.* (2019)**

Por fim, por mais que o modelo de laboratório remoto tenha fatores limitantes, como, parâmetros de processo, funcionamento limitado, entre outros, se faz um modelo acessível. Um modelo complementar e mais complexo que sana parte dessas limitações é o laboratório virtual de experimentação (GRODOTZKI *et al.*, 2018).

#### 4.1.4 Laboratório Virtual

O Modelo de ensino 4.0, Laboratório Virtual, é uma configuração que se fundamenta em um ambiente online e aplicativos que concedem acesso a uma biblioteca de experimentos virtuais previamente preparados, prontos para serem executados (GRODOTZKI *et al.*, 2018).

Os laboratórios virtuais são uma abordagem altamente flexível para atividades práticas no contexto da educação em engenharia. Predominantemente acessados por meio de aplicativos web, essas ferramentas permitem que os estudantes repliquem procedimentos realizados em laboratórios reais, concedendo-lhes uma valiosa experiência prática no processo (MOGOS *et al.*, 2018).

Adicionalmente, laboratórios virtuais são frequentemente equipados com tecnologia de Realidade Virtual (RV), que oferece simulações altamente realistas de ambientes variados, adequados para a realização de tarefas, projetos ou experimentos científicos específicos (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022).

Complementando a definição de laboratórios virtuais, são uma adaptação de experiências do mundo real para o ambiente virtual. Isso envolve a recriação detalhada de práticas, experimentos e observações realizados originalmente em laboratórios físicos, agora migrados para o contexto digital. A fim de reproduzir fielmente as condições e variáveis dessas experiências, oferecendo aos alunos uma vivência próxima à realidade, facilitando, assim, o aprendizado prático e conceitual de forma eficaz e acessível (GOLDIN *et al.*, 2022).

A implementação de Laboratórios Virtuais apresenta inúmeras vantagens em comparação com instalações de laboratórios físicos. Dentre essas vantagens, destacam-se a ausência de restrições quanto à disponibilidade de materiais, a autonomia conferida aos alunos para explorar soluções inovadoras de forma independente, diferentemente do ambiente de sala de aula tradicional, onde a observação das experiências realizadas pelo professor prevalece. Além disso, a abordagem virtual é uma alternativa mais econômica e promove o autoaprendizado dos alunos (CHÁVEZ *et al.*, 2021).

O aprendizado é estimulado à medida que os estudantes têm a oportunidade de observar e interagir com cenários e situações que se aproximam da realidade. Através dessa abordagem, a assimilação e a integração de informações com o conhecimento adquirido tornam-se mais acessíveis. Essas virtualizações desempenham um papel crucial na complementação e expansão do ensino em engenharia, enriquecendo a experiência educacional dos alunos (MOGOS *et al.*, 2018).

O laboratório virtual cria um ambiente propício para o estudo dos princípios associados às tecnologias digitais mais avançadas da indústria, permitindo,

simultaneamente, a colaboração dos alunos na interação com uma célula industrial (PRIETO *et al.*, 2019).

As atividades podem ser executadas de maneira flexível, a qualquer hora e em qualquer lugar, proporcionando aos estudantes a liberdade de repeti-las quantas vezes desejarem. Esse aspecto possibilita que os alunos explorem diversos sistemas mesmo com um conhecimento limitado em programação, modifiquem modelos matemáticos existentes ou construam novos modelos de acordo com requisitos atualizados (MOGOS *et al.*, 2018).

O desenvolvimento do ambiente de fábrica virtual ainda está em curso, mas tem o potencial de envolver de maneira mais eficaz os estudantes, sobretudo em questões relacionadas a situações perigosas e aos protocolos de segurança (QIAN *et al.*, 2023).

A ascensão dos ambientes virtuais de aprendizagem desafiou o sistema educacional convencional, especialmente no contexto dos cursos de engenharia, que, anteriormente, eram predominantemente ministrados em palestras e laboratórios presenciais (CIOLACU *et al.*, 2023).

Um desafio significativo está relacionado ao investimento inicial necessário para a implementação de laboratórios virtuais. Embora, a longo prazo, essas soluções possam resultar em economia de recursos, é fundamental dispor de um financiamento inicial para estabelecer o laboratório virtual (MOGOS *et al.*, 2018).

Junto com a limitação de recursos financeiros para a viabilização das instalações e da infraestrutura tecnológica, surge a carência de orientação em relação à operação plena das tecnologias, bem como desafios pedagógicos (GURIDI *et al.*, 2022).

Existem vários exemplos de laboratórios virtuais desenvolvidos com objetivos semelhantes, porém, com abordagens diferentes. Um desses exemplos é o VE-Lab, que abrange avaliações em materiais, processos de formação e usinagem, bem como testes de produtos. Este laboratório virtual atua como uma valiosa ferramenta inclusiva para experimentos virtuais, com um foco específico em experimentos relacionados à engenharia mecânica. Porém, o VE-Lab está planejado para oferecer acesso aberto a uma ampla gama de campos de pesquisa e desenvolvimento” (GRODOTZKI *et al.*, 2018).

Outro exemplo ilustrativo compreende o desenvolvimento de um laboratório virtual, concebido com base nas tecnologias associadas à Indústria 4.0. Essa iniciativa

visa oferecer suporte tanto ao ensino quanto às práticas realizadas por alunos e docentes que participam de programas acadêmicos voltados para os setores automotivo e de manufatura (GURIDI *et al.*, 2022).

Outro exemplo relevante, especialmente no campo da engenharia automotiva, consiste na implementação de um laboratório virtual concebido para complementar a formação em Engenharia de Sistemas Automotivos. Esse ambiente proporciona uma experiência imersiva, permitindo aos alunos a visualização e descrição auditiva detalhada dos diferentes componentes que integram um motor de combustão (CHÁVEZ *et al.*, 2021).

Destinchando melhor esse último exemplo, “foi criado um ambiente virtual 3D no software Unity3D que pode ser usado por meio de um fone de ouvido de realidade virtual ou pelo módulo de rastreamento óptico de mãos” (CHÁVEZ *et al.*, 2021, p.5).

Os laboratórios virtuais se destacam pela disponibilidade de modelos de relatórios, auxiliando estudantes e professores na análise de resultados experimentais (MOGOS *et al.*, 2018).

Os laboratórios virtuais proporcionam um ambiente seguro para adquirir novas habilidades realistas, embora não alcancem o mesmo nível de realismo encontrado nas fábricas de aprendizagem (VU, 2018). Tema da próxima seção, Fábrica de aprendizagem.

#### 4.1.5 Fábrica de Aprendizagem

A Fábrica de Aprendizagem é um conceito que emprega equipamentos acadêmicos em conjunto com instalações de produção que simulam um cenário industrial, criando um ambiente prático no campus universitário (MOURTZIS *et al.*, 2021).

Este ambiente prático no campus tem como objetivo proporcionar um espaço adequado para a formação de engenheiros preparados para impulsionar a adoção da Indústria 4.0 (KLEPPE *et al.*, 2022).

A Fábrica de Aprendizagem, em essência, representa a vertente educacional da Fábrica Inteligente, concentrando-se na otimização da eficiência além dos padrões convencionais, ao incorporar todas as tecnologias que proporcionam os métodos e

técnicas mais eficazes para a contínua aprimoração dos processos produtivos (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022).

Este ambiente de Fábrica de Aprendizagem não se limita a máquinas e robôs inteligentes, uma vez que envolve a interação com pessoas no processo. Os cursos de ensino superior em engenharia e gestão devem capacitar os indivíduos a compreender como interagir com as máquinas, de forma que todos os participantes da Fábrica de Aprendizagem estejam interconectados e capazes de se comunicar eficazmente (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022).

Essa abordagem tenta criar um ambiente de interação aprimorado entre a inteligência humana e as habilidades cognitivas dos sistemas baseados em inteligência artificial. Assim, os cálculos e a precisão ficam por conta da máquina, enquanto a tomada de decisões estratégicas e o gerenciamento da relação garante um ambiente colaborativo homem-máquina dinâmico e eficaz em um claro salto em direção à EE 4.0 (PRIETO *et al.*, 2019, p. 4).

Na perspectiva do aprimoramento do desenvolvimento humano, os estudantes adquirem uma maior capacidade, uma vez que a Fábrica de Aprendizagem oportuniza a colaboração em uma célula automatizada com arquitetura alinhada à Indústria 4.0. Isso lhes permite acessar informações e desempenhar o monitoramento e controle da linha de produção por meio de soluções tecnológicas (PRIETO *et al.*, 2019).

A participação em uma célula automatizada proporciona um ambiente desafiador e interativo, no qual professores e estudantes estão imersos, aplicando conceitos teóricos a cenários do mundo real, resultando na cocriação de conhecimento (LOPEZ *et al.*, 2021).

No contexto universitário, a Fábrica de Aprendizagem desempenha um papel essencial no aprimoramento da educação e na promoção da pesquisa, possibilitando o avanço das tecnologias de fabricação. No setor industrial, esse ambiente desempenha um papel crucial na avaliação de soluções industriais (PRIETO *et al.*, 2019).

O IdeaLab representa um exemplo real de Fábrica de Aprendizagem, pois assume a forma de uma mini-fábrica integral, unindo o design do produto e a produção automatizada, e incorporando células de fabricação avançadas. Além disso, tem a possibilidade de integração com uma plataforma online, possibilitando a produção automática de produtos personalizados (KLEPPE *et al.*, 2022).

A respeito da conectividade e alinhamento entre as demandas dos clientes e a produção ocorrem quando uma linha de produção característica da Indústria 4.0

recebe dados sobre pedidos de clientes diretamente de um sistema de gestão empresarial conectado à nuvem, possibilitando a monitorização em tempo real do estado da produção (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022).

Ademais, tem-se o exemplo do I4Tech, esse laboratório engloba um sistema de automação flexível, a utilização da Internet das Coisas para estabelecer a comunicação entre os dispositivos, a aplicação da inteligência artificial no reconhecimento de padrões, e a criação de um modelo digital da célula por meio do gêmeo digital (PRIETO *et al.*, 2019).

Um aspecto inovador da Fábrica de Aprendizagem reside na possibilidade de grupos de estudantes de engenharia colaborarem de forma simultânea na criação de novos produtos, compartilhando informações e aproveitando tecnologia de última geração (MOURTZIS *et al.*, 2021).

Em termos gerais, as Fábricas de Aprendizagem, como o IdeaLab, são concebidas com foco na educação, pesquisa e inovação no âmbito da manufatura de pequenas quantidades e produtos altamente diversificados, muitas vezes personalizados (KLEPPE *et al.*, 2022).

Por meio da educação oferecida pela Fábrica de Aprendizagem, os estudantes estarão preparados para implementar soluções mais eficazes no ambiente de produção, otimizando a utilização de equipamentos, reduzindo a inatividade, aprimorando a eficiência dos materiais, gerenciando as cadeias de suprimentos, sincronizando de forma mais eficiente os custos e aprimorando a precisão na elaboração de planos de ajuste de rota (MUSTAȚĂ *et al.*, 2022).

## **4.2 Mudanças no currículo**

A revisão do currículo acadêmico desempenha um papel fundamental na preparação dos estudantes para desafios futuros, exigindo a superação dos paradigmas do ensino convencional (MOURTZIS *et al.*, 2021).

Essa nova abordagem estratégica visa cultivar as competências essenciais necessárias para enfrentar os desafios que se apresentarão nas futuras instalações de produção e empresas (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Cresce a demanda por enriquecer a compreensão dos estudantes de engenharia com um leque mais abrangente de conceitos a respeito da Indústria 4.0, permitindo a tomada de decisões embasadas, por meio de abordagens multidisciplinares (RAMIREZ *et al.*, 2018).

A aquisição de compreensão conceitual deve ser complementada pela aplicação prática e experimentação. No cenário atual, devido às restrições de tempo nos currículos, limitações de espaço e financiamento insuficiente para equipamentos, a configuração acadêmica predominantemente tende a enfatizar a instrução teórica, enquanto negligencia a experiência prática (QIAN *et al.*, 2023).

O desafio de transmitir experiências práticas e destacar sua relevância se tornou particularmente evidente durante a pandemia de Covid-19, que acelerou e ressaltou a necessidade de mudanças curriculares (GURIDI *et al.*, 2022).

No cenário atual, é de extrema importância que os novos currículos de engenharia estejam direcionados para a otimização do desenvolvimento do potencial individual, ao mesmo tempo que são alinhados com as demandas do mercado (JAM; PUTEH, 2022).

O mercado de trabalho demanda profissionais qualificados devido às implicações da Indústria 4.0, uma vez que está sob constante pressão da concorrência, fornecedores e demais partes interessadas. Os profissionais devem estar preparados para aprimorar a eficiência dos processos de produção, reduzir diversos tipos de insumos e despesas, e eliminar variadas formas de desperdício (INGALDI *et al.*, 2023).

O principal propósito de qualquer aprimoramento no currículo é capacitar os formandos para o setor industrial. Portanto, em um ambiente em constante evolução, onde são necessárias adaptações contínuas, as disciplinas de engenharia devem ser constantemente atualizadas (VU, 2018).

A implementação de mudanças curriculares requer um sólido respaldo de decisão. As instituições de ensino devem conceber um currículo flexível e eficaz, sintonizado com a formação de recursos humanos alinhada à Indústria 4.0 (VU, 2018). Essa adaptação deve ser fundamentada nos requisitos das empresas locais, que frequentemente constituem os principais empregadores dos seus graduados (INGALDI *et al.*, 2023).

Os docentes devem dedicar esforços adicionais para estabelecer um ambiente no qual a integração eficaz das tecnologias seja promovida e, assim, ofereça

suporte efetivo tanto ao processo de aprendizagem quanto às atividades de ensino (MOGOS *et al.*, 2018).

Além de dedicar esforço, é essencial ter a disposição para desenvolver cursos envolventes para os alunos. Reconhecer a necessidade de reformas no currículo contribuirá para o aprimoramento do ensino e fortalecerá a determinação para efetivar tais mudanças (INGALDI *et al.*, 2023).

Professores, instituições de ensino, estudantes e empresas não são os únicos atores que contribuem com sugestões de alterações nos currículos. Organizações profissionais, como as sociedades técnicas, desempenham um papel crucial no desenvolvimento desses programas. Portanto, a participação de todas as partes interessadas é fundamental nesse processo de revisão (QIAN *et al.*, 2023).

Os componentes vinculados ao indicador do currículo englobam elementos da Indústria 4.0, tais como cursos de design, projetos práticos e simulações (JAM; PUTEH, 2022). “Os alunos aprenderão sobre análise de dados aplicada, mas também os fundamentos da Internet das Coisas e da segurança cibernética” (INGALDI *et al.*, 2023, p. 7).

O currículo também deve abordar a temática da segurança dos processos, por meio da exploração de situações que envolvam potenciais riscos associados às atividades industriais, utilizando para isso softwares de simulação (QIAN *et al.*, 2023).

Segundo Elizondo e Reyes (2023), as tecnologias de Realidade aumentada, sistemas ciberfísicos e bancos de dados avançados são exemplos de tecnologias facilitadoras presentes na Indústria 4.0 que precisam estar nos currículos de engenharia. Conforme Alakrash e Razak (2021), o conteúdo da Internet das Coisas como componente do currículo é de suma importância e indispensável.

O currículo atualizado incorpora novas abordagens para o controle e medição, automação de processos, e concepção de produtos inovadores, abrangendo aspectos como engenharia reversa, prototipagem ágil e integração do feedback do cliente (INGALDI *et al.*, 2023).

O novo currículo deve conter manipulação e processamento massivo de informações onde ferramentas de estatística inferencial, aprendizagem de máquinas, mineração de dados e inteligência artificial, pelo menos em seus fundamentos (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Isso requer a instrução dos alunos sobre essas tecnologias e a incorporação delas no currículo, resultando em uma mudança substancial na abordagem de ensino,

com a utilização dessas tecnologias para aprimorar a experiência acadêmica (MOURTZIS *et al.*, 2021).

Mediante essas estratégias, o intuito é simplificar a transição dos estudantes para o ambiente industrial. Com o currículo modelado de tal maneira, os alunos têm a oportunidade de adquirir experiência prática durante o período de formação, preparando-os para ingressar no mercado de trabalho e assumir funções de responsabilidade na Indústria sem requerer um extenso período de qualificação adicional (INGALDI *et al.*, 2023).

Uma maneira de incorporar essas disciplinas curriculares é por meio de um curso SE Capstone de educação em engenharia, com foco na Indústria 4.0, que é composto por um projeto de curso dividido em três estágios. No primeiro estágio, os estudantes adquirem conhecimentos sobre os princípios e tecnologias da Indústria 4.0, que abrangem tópicos como Inteligência Artificial, Análise Preditiva, Internet das Coisas, Modelagem e Simulação de Sistemas, Segurança Cibernética, Realidade Virtual e outras tecnologias relevantes. O segundo estágio se concentra em um curso especializado em Engenharia de Sistemas, abordando os principais sistemas utilizados em grandes empresas. Por fim, no terceiro estágio, ocorre a síntese dos conhecimentos adquiridos nos estágios anteriores e sua aplicação em um projeto real (PROMYOO *et al.*, 2019).

Uma abordagem alternativa para um novo currículo é segmentar o programa em disciplinas que combinem palestras, exercícios, projetos, laboratórios e seminários. A alocação típica é de 40% para aulas teóricas, 30% para atividades de laboratório, 15% para projetos e igual parcela de 15% para exercícios. As matérias oferecidas são intimamente relacionadas com as soluções da Indústria 4.0. Os alunos têm a flexibilidade de escolher entre as matérias disponíveis no curso, contudo, devem cumprir um número mínimo de disciplinas ao longo do programa. Além disso, são oferecidas opções de aulas durante os fins de semana para atender àqueles com compromissos conflitantes de horário durante a semana, como trabalho, por exemplo (INGALDI *et al.*, 2023).

Em suma, as alterações no currículo são projetadas para estar em sintonia com a Indústria 4.0 e suas tecnologias, garantindo que o currículo seja adaptável às preferências e interesses individuais dos alunos. Os educadores assumem o papel de mentores e os serviços são oferecidos para fomentar a aprendizagem ao longo da vida, uma vez que o cenário está em constante evolução. As tecnologias mudam, as

abordagens evoluem, então o currículo em engenharia precisa se adaptar (MOURTZIS *et al.*, 2021).

A seção subsequente visa unificar os conhecimentos previamente discutidos, a fim de formular uma proposição para implementação de um modelo de ensino 4.0 ideal ao aprimoramento de engenheiros frente a Indústria 4.0.

### 4.3 Proposições para a prática

Inicialmente, a implementação das abordagens anteriormente mencionadas requer o apoio dos gestores universitários, que desempenharão o papel de patrocinadores deste projeto (MOGOS *et al.*, 2018).

Para além da alocação de recursos financeiros providos pelos gestores universitários para o projeto de ensino 4.0 direcionado aos engenheiros, é imperativo obter o respaldo ativo dos docentes, a fim de que estes possam adaptar suas abordagens de ensino, aulas e conteúdo de acordo com as especificidades e demandas inerentes ao ensino 4.0. Esse comprometimento por parte dos professores é crucial para o sucesso da iniciativa e a efetiva integração do modelo de ensino 4.0 no contexto acadêmico (JAM; PUTEH, 2022).

As aulas precisam ter as características de ser: (1) flexível (GOLDIN *et al.*, 2022); (2) imersível (GUZMAN, 2019); (3) Personalizada (MOURTZIS *et al.*, 2021); (4) Tecnológica (JAM; PUTEH, 2022); (5) Inovadora (GRODOTZKI *et al.*, 2018); (6) Multidisciplinar (RAMIREZ *et al.*, 2018) e (7) Experimental (TERKOWSKY *et al.*, 2019).

Com um currículo abrangente que abarca diversas tecnologias, priorizando a incorporação das mais atualizadas e avançadas, os novos programas de ensino estarão devidamente preparados para equipar os estudantes de engenharia com as competências necessárias (ELIZONDO; REYES, 2023).

**Quadro 5 - Matérias no novo currículo**

Gêmeo Digital	Realidade Aumentada
Internet das Coisas	Big Data
Segurança de dados	Nuvem
Simulação	Robôs

Fonte: Autoria Própria (2023)

Essas tecnologias, ou, mais especificamente, uma parcela significativa delas por vez, devem ser devidamente incorporadas à infraestrutura da fábrica de aprendizagem (CABALLERO *et al.*, 2020). A fábrica de aprendizagem proporciona o ambiente ideal para o aprimoramento das competências dos engenheiros, preparando-os para enfrentar os desafios da Indústria 4.0 (KLEPPE *et al.*, 2022).

Para viabilizar a implantação da fábrica de aprendizagem, é aconselhável seguir uma abordagem que comece com a elaboração do projeto da infraestrutura do laboratório. Em seguida, a implementação dos módulos de ensino, que envolvem a divisão das disciplinas ao longo dos períodos dos cursos de engenharia. Por fim, é importante abordar as situações específicas de ensino e aprendizagem, realizando as adaptações necessárias (KLEPPE *et al.*, 2022).

É imprescindível a parceria com a indústria, sendo assim, a instituição pode contar com casos reais para aplicação dos conhecimentos adquiridos, proporcionando uma abordagem prática e relevante. Além disso, essa colaboração estreita possibilita uma maior proximidade com potenciais empregadores dos alunos no futuro, promovendo uma integração eficaz entre a academia e o mercado de trabalho (VU, 2018).

Por último, é fundamental que o ensino 4.0 incorpore o conceito de aprendizagem ao longo da vida, para que os alunos desenvolvam a mentalidade de que precisarão continuar adquirindo conhecimento, mesmo após a conclusão de seus cursos nas instituições de ensino superior. Isso promove a ideia de educação continuada e a adaptabilidade às mudanças constantes no mundo profissional (GOLDIN *et al.*, 2022).

## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que a adoção dos métodos de ensino anteriormente propostos é imperativa para garantir a correta adequação, tanto em termos de estrutura quanto de abordagem, a fim de capacitar de forma mais eficaz os futuros engenheiros. A decisão de implementar esses modelos recai sobre os gestores universitários, considerando a disponibilidade de recursos financeiros. Nesse sentido, não é sugerida a adoção simultânea dos cinco modelos, mas sim uma abordagem sequencial, permitindo a absorção mais completa de cada experiência singular proporcionada por esses modelos. Para os estudantes que ingressam em cursos de engenharia, é importante verificar se a universidade escolhida adota um dos modelos propostos, a fim de aprimorar sua capacitação durante o período de formação.

Esse é um período de transição da educação tradicional para a educação 4.0, tornando a identificação dos modelos ideais de ensino 4.0 uma etapa crucial. Esses modelos desempenham um papel essencial na capacitação dos estudantes, na formação de profissionais altamente qualificados para o mercado de trabalho e na melhoria da reputação das universidades. Além disso, como resultado dessas melhorias, essas instituições podem contribuir significativamente para o desenvolvimento da indústria local e, por extensão, da nação que as adotar.

## REFERÊNCIAS

ALAKRASH, H.; RAZAK, N. Education and the fourth industrial revolution: Lessons from COVID-19. **Computers, Materials and Continua**, v. 70, p. 951-962, 2021. Doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.014288>.

BRAUN, J., et al. A robot localization proposal for the Robot At Factory 4.0: A novel robotics competition within the Industry 4.0 concept. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 9, nov. 2022. doi: <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.1023590>.

CABALLERO, J.M.C., et al. Automotive system engineers training through augmented reality. **Innovacion Educativa-Mexico**, v. 20, p. 23-41, 2020.

CIOLACU, M.I.; et al. Fostering Engineering Education 4.0 Paradigm Facing the Pandemic and VUCA World. **Procedia Computer Science**, v. 217, p. 177-186, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.213>.

CORDERO-GURIDI, J.-J.; et al. Design and Development of a I4.0 Engineering Education Laboratory with Virtual and Digital Technologies Based on ISO/IEC TR 23842-1 Standard Guidelines. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/app12125993>.

DAO, L.T., et al. A bibliometric analysis of Research on Education 4.0 during the 2017–2021 period. **Education and Information Technologies**, v. 28, mar. 2023, p. 2437-2453. doi: <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11211-4>.

GARAY-RONDERO, C.L.; et al. Designing a Cyber-Physical-Systems and Human Factors Engineering Course for Industry 4.0. **Machine Learning-Driven Digital Technologies for Educational Innovation Workshop**, p. 1-8, 2021. doi: [10.1109/IEEECONF53024.2021.9733753](https://doi.org/10.1109/IEEECONF53024.2021.9733753).

GEUER, L.; et al. SmaEPho–Smart Photometry in Education 4.0. **Education Sciences**, v. 13, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/educsci13020136>.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLDIN, T.; et al. Reference Architecture for an Integrated and Synergetic Use of Digital Tools in Education 4.0. **Procedia Computer Science**, v. 200, p. 407-417, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.239>.

GRODOTZKI, J.; ORTELT, T.R.; TEKKAYA, A.E. Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University. **Procedia Manufacturing**, v. 26, p. 1349-1360, ago. 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.126>.

GUZMAN, D.S.; Industry and education 4.0 in Mexico, an exploratory study. **Innovacion Educativa-Mexico**, v. 19, p. 39-63, 2019.

HADERER, B.; CIOLACU, M. Education 4.0: Artificial Intelligence Assisted Task- and Time Planning System. **Procedia Computer Science**, v. 200, p. 1328-1337, mar. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.334>.

HASHMI, M.A.; MO, J.P.T.; BECKETT, R.C. Transdisciplinary systems approach to realization of digital transformation. **Advanced Engineering Informatics**, v. 49, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101316>.

HERNANDEZ-CHAVEZ, M.; et al. Development of Virtual Reality Automotive Lab for Training in Engineering Students. **Sustainability**, v. 13, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/su13179776>.

INGALDI, M.; ULEWICZ, R.; KLIMECKA-TATAR, D. Creation of the university curriculum in the field of Industry 4.0 with the use of modern teaching instruments - Polish case study. **Procedia Computer Science**, v. 217, p. 660-669, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.262>.

JAM, N.; PUTEH, S. Exploring the teaching and learning indicators towards education 4.0 in mtun, Malaysia. **International Journal of Information and Education Technology**, v. 12, n. 2, p. 179-184, 2022. Doi: <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.2.1602>.

KLEPPE, P.S.; et al. Idea Lab: Bridging Product Design and Automatic Manufacturing in Engineering Education 4.0. **IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON**, p. 195-200, mar. 2022.

LOPEZ, H.A.; et al. Design Framework Based on TEC21 Educational Model and Education 4.0 Implemented in a Capstone Project: A Case Study of an Electric Vehicle Suspension System. **Sustainability**, v. 13, 2021. doi: <https://doi.org/10.3390/su13115768>.

MOGOS, R.I.; et al. Technology enhanced learning for industry 4.0 engineering Education. **Revue Roumaine Des Sciences Techniques-Serie Electrotechnique Et Energetique**, v. 63, p. 429-435, 2018.

MOURTZIS, D.; PANOPOULOS, N.; ANGELOPOULOS, J. A hybrid teaching factory model towards personalized education 4.0. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 2022. doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2145025>.

MUSTAȚĂ, I.-C.; et al. The evolution of industry 4.0 and its potential impact on industrial engineering and management Education. **Revue Roumaine des Sciences Techniques Serie Electrotechnique et Energetique**, v. 67, p. 73-78, 2022.

NOGUEZ, J.; et al. VIS-HAPT: A Methodology Proposal to Develop Visuo-Haptic Environments in Education 4.0. **Future Internet**, v. 13, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/fi13100255>.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 12 set. 2015.

PRIETO, M.D.; Active Learning based Laboratory towards Engineering Education 4.0. **IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA**, p. 776-783, 2019. Doi: 10.1109/ETF.A.2019.8869509.

PROMYOO, R.; ALAI, S.; EL-MOUNAYRI, H. Innovative Digital Manufacturing Curriculum for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 34, p. 1043-1050, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.092>.

QIAN, Y.; VADDIRAJU, S.; KHAN, F. Safety education 4.0 – A critical review and a response to the process industry 4.0 need in chemical engineering curriculum. **Safety Science**, v. 161, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106069>.

RAMIREZ-MENDOZA, R.A. Engineering Education 4.0:-proposal for a new Curricula. **IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON**, p. 1273-1282, abr. 2018. doi: 10.1109/EDUCON.2018.8363376.

TERKOWSKY, C.; FRYE, S.; MAY, D. Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for "Working 4.0"? **European Journal of Education**, v. 54, p. 577-590, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1111/ejed.12368>.

TREVIÑO-ELIZONDO, B.L.; GARCÍA-REYES, H. What does Industry 4.0 mean to Industrial Engineering Education? **Procedia Computer Science**, v. 217, pp. 876-885, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.284>.

VU, T. Building CDIO approach training programmes against challenges of industrial revolution 4.0 for engineering and technology development. **International Journal of Engineering Research and Technology**, v. 11, p. 1129-1148, 2018.

**APÊNDICE A: InOrdinatio**

N	Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL	FI	Citations	InOrdinatio
1	Grodzki, J., Ortek, T.R. and Tekkaya, A.E.	Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University	2018	Procedia Manufacturing	article	DOI URL	0,68	184	234
2	Ramirez-Mendoza, R.A., Morales-Menendez, R., Iqbal, H. and Parra-Saldivar, R.	Engineering Education 4.0: proposal for a new Curricula	2018	IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON	inproceedings	DOI URL	3,56	85	135
4	Goldin, T., Rauch, E., Pacher, C. and Woschank, M.	Reference Architecture for an Integrated and Synergetic Use of Digital Tools in Education 4.0	2022	Procedia Computer Science	article	DOI URL	3,56	16	106
3	Mogos, R.I., Bodea, C.N., Dasca, M.I., Safonkina, O., Lazarou, E., Trifan, E.L. and Nemoianu, I.V.	TECHNOLOGY ENHANCED LEARNING FOR INDUSTRY 4.0 ENGINEERING EDUCATION	2018	REVUE ROUMAINE DES SCIENCES TECHNIQUES-SERIE ELECTROTECHNIQUE ET ENERGIE	article	DOI URL	0,67	56	106
5	Lopez, H.A., Ponce, P., Molina, A., Ramirez-Montoya, M.S. and Lopez-Alakrash, H. and Razak, N.	Design Framework Based on TEC21 Educational Model and Education 4.0 Implemented in a Capstone Project: A	2021	SUSTAINABILITY	article	DOI URL	3,89	25	105
6		Education and the fourth industrial revolution: Lessons from COVID-19	2021	Computers, Materials and Continua	article	DOI URL	3,77	21	101
7	Ciolacu, M.I., Mihailescu, B., Rachbauer, T., Hansen, C., Amza, C.G. and Svasta, P.	Fostering Engineering Education 4.0 Paradigm Facing the Pandemic and VUCA World	2023	Procedia Computer Science	article	DOI URL	3,77	1	101
8	Hernandez-Chavez, M., Cortes-Caballero, J.M., Perez-Martinez, A.A., Hernandez-Quintanar, L.F., Geuer, L., Lauer, F., Kuhn, J., Wehn, N. and Ulber, R.	Development of Virtual Reality Automotive Lab for Training in Engineering Students	2021	SUSTAINABILITY	article	DOI URL	3,89	20	100
9		SmaEPho-Smart Photometry in Education 4.0	2023	Education Sciences	article	DOI URL	2,92	0	100
10	Promyoo, R., Alai, S. and El-Mounayri, H.	Innovative Digital Manufacturing Curriculum for Industry 4.0	2019	Procedia Manufacturing	article	DOI URL	0,68	40	100
11	Ingaldi, U., Ulewicz, R. and Klimecka-Tatar, D.	Creation of the university curriculum in the field of Industry 4.0 with the use of modern teaching instruments	2023	Procedia Computer Science	article	DOI URL	0,57	0	100
12	Treño-Elizondo, B.L. and Garcia-Reyes, H.	What does Industry 4.0 mean to Industrial Engineering Education?	2023	Procedia Computer Science	article	DOI URL	0,57	0	100
13	Qian, Y., Vaddiraju, S. and Khan, F.	Safety education 4.0 - A critical review and a response to the process industry 4.0 need in chemical engineering	2023	Safety Science	article	DOI URL	0,39	0	100
14	Cordero-Guridi, J.-J., Cuautle-Gutiérrez, L., Alvarez-Tamayo, R.-I. and Caballero-Morales, S.-O.	Design and Development of a H.0 Engineering Education Laboratory with Virtual and Digital Technologies Based on ISO/IEC TR 23842-1 Standard Guidelines	2022	Applied Sciences (Switzerland)	article	DOI URL	7,86	4	94
15	Haderer, B. and Ciolacu, M.	Education 4.0: Artificial Intelligence Assisted Task- and Time Planning System	2022	Procedia Computer Science	article	DOI URL	7,86	4	94
16	Kleppe, P.S., Bjelland, D., Hansen, I.E. and Mork, D.J.	Idea Lab: Bridging Product Design and Automatic Manufacturing in Engineering Education 4.0	2022	IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON	inproceedings	DOI URL	3,56	2	92
17	Mustafá, I.-C., Bacali, L., Bucur, M., Ciuceanu, R., Ioanid, A. and Stefan, A.	THE EVOLUTION OF INDUSTRY 4.0 AND ITS POTENTIAL IMPACT ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT EDUCATION	2022	Revue Roumaine des Sciences Techniques Serie Electrotechnique et Energetique	article	DOI URL	0,67	2	92
18	Jam, N. and Puteh, S.	Exploring the teaching and learning indicators towards education 4.0 in mtun, Malaysia	2022	International Journal of Information and Education Technology	article	DOI URL	0,26	2	92
19	Dao, L.T., Tran, T., Le, H.V., Nguyen, G.N. and Trinh, T.P.T.	A bibliometric analysis of Research on Education 4.0 during the 2017-2021 period	2022	Education and Information Technologies	article	DOI URL	5,40	0	90
20	Mourtzis, D., Panopoulos, N. and Angelopoulos, J.	A hybrid teaching factory model towards personalized education 4.0	2022	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	article	DOI URL	4,42	0	90
21	Braun, J., Júnior, A., Berger, G., Pinto, V., Soares, I., Pereira, A., Hashmi, M.A., Mo, J.P.T. and Beckett, R.C.	A robot localization proposal for the RobotAI Factory 4.0: A novel robotics competition within the Industry 4.0	2022	Frontiers in Robotics and AI	article	DOI URL	3,47	0	90
22		Transdisciplinary systems approach to realization of digital transformation	2021	Advanced Engineering Informatics	article	DOI URL	2,84	8	88
23	Guzman, D.S.	Industry and education 4.0 in Mexico, an exploratory study	2019	INNOVACION EDUCATIVA-MEXICO	article	DOI URL	0,00	26	86
24	Gutiérrez-Martínez, Y., Bustamante-Bello, R., Navarro-Tuch, S.A., López Prieto, M.D., Sobrino, A.F., Soto, L.R., Romero, D., Biosca, P.F. and Wu, T.	A challenge-based learning experience in industrial engineering in the framework of education 4.0	2021	Sustainability (Switzerland)	article	DOI URL	4,17	5	85
25		Active Learning based Laboratory towards Engineering Education 4.0	2019	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA	inproceedings	DOI URL	3,56	24	84
27		Building CQID approach training programmes against challenges of industrial revolution 4.0 for engineering	2018	International Journal of Engineering Research and Technology	article	DOI URL	0,00	33	83
28	Tenorio-Sepúlveda, G.-C., Muñoz-Olitz, K.-D.-P., Nova-Nova, C.-A., Ramirez-Montoya, M.-S. and Muñoz Terkowsky, C., Frye, S. and May, D.	Diagnostic Instrument of the Level of Competencies in Cloud Computing for Teachers in Education 4.0	2021	, pp. 665-673	article	DOI URL	0,00	3	83
28		Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for "Working 4.0"?	2019	EUROPEAN JOURNAL OF EDUCATION	article	DOI URL	2,03	22	82
29	Bronwyn Swartz	Ethics_in_engineering_education_4.0_The_educators_perspective	2021	SAIIE Africa Research Journal	article	DOI URL	0,10	2	82
30	Garay-Rondero, C.L., Thierry-Aguilera, R., Schneider, A.K., Bourquet-Diaz, R.E., Salinas, M.L.	Designing a Cyber-Physical-Systems and Human Factors Engineering Course for Industry 4.0	2021	Future of Educational Innovation Workshop Series - Machine Learning-Driven Digital Technologies for Educational Innovation Workshop 2021	inproceedings	DOI URL	0,00	2	82
31	Noguez, J., Neri, L., Robledo-Rella, V., Garcia-Castelan, R.M.G., Caballero, J.M.C., Martinez, A.A.P., Villegas, J.E.M., Chavez, M.H., Bustos, D.A.F. and Quintanar, L.F.H.	VIS-HAPT: A Methodology Proposal to Develop Visuo-Haptic Environments in Education 4.0	2021	FUTURE INTERNET	article	DOI URL	4,00	1	81
32		Automotive system engineers training through augmented reality	2020	INNOVACION EDUCATIVA-MEXICO	article	DOI URL	0,00	8	78