

**ANA CAROLINA FERREIRA COSTA**

**Proposta de framework para suporte ao ensino de engenharia de produção baseado nas  
tecnologias da Indústria 4.0**

**Ana Carolina Ferreira Costa**

**Proposta de framework para suporte ao ensino de engenharia de produção baseado nas tecnologias da Indústria 4.0**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na área de Gestão Organizacional.

Orientador: Prof. Dr. Otávio José de Oliveira

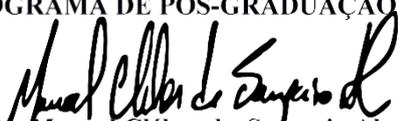
|       |  |
|-------|--|
| C837p | Costa, Ana Carolina Ferreira<br>Proposta de framework para suporte ao ensino de engenharia de produção baseado nas tecnologias da indústria 4.0 / Ana Carolina Ferreira Costa – Guaratinguetá, 2022.<br>154 f : il.<br>Bibliografia: f. 103-128<br><br>Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.<br><br>Orientador: Prof. Dr. Otávio José de Oliveira<br><br>1. Inovações educacionais. 2. Tecnologia da informação. 3. Educação e tecnologia de ponta. 4. Engenharia de produção. I. Título. |
|-------|--|

CDU 658:681.3

**ANA CAROLINA FERREIRA COSTA**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO: MESTRADO  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

  
Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
**PROF. DR. OTÁVIO JOSÉ DE OLIVEIRA**  
Orientador / UNESP/FEG  
participou por videoconferência

  
**PROF. DR. CARLOS DIAS MACIEL**  
Escola de Engenharia de São Carlos-USP  
participou por videoconferência

  
**PROF. DR. FERNANDO JULIANI**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA  
participou por videoconferência

## **DADOS CURRICULARES**

### **ANA CAROLINA FERREIRA COSTA**

|                   |   |
|-------------------|---|
| <b>NASCIMENTO</b> | 17.02.1995 – Guaratinguetá / SP   |
| <b>FILIAÇÃO</b>   | Richard Wellington de Oliveira Costa<br>Maria Célia Aparecida Ferreira  |
| <b>2013/2018</b>  | Engenharia de Produção – Bacharel em Engenharia de Produção<br>Universidade Federal Fluminense  |
| <b>2020/2021</b>  | Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Mestre em Engenharia<br>de Produção<br>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” |

Dedico este trabalho aos meus queridos avôs

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, saúde e sabedoria para que eu chegasse até o fim dessa etapa.

Ao meu orientador, Professor Doutor Otávio José de Oliveira, por todo conhecimento compartilhado, dedicação e apoio. Sem sua excelente orientação, esta pesquisa seria impossível.

Ao Gabriel por ser o meu maior incentivador e companheiro, que com tanto carinho sempre me aconselhou e apoiou, estando presente em todo este percurso.

À CAPES pelo fomento científico e concessão de bolsa, que subsidiaram o desenvolvimento desta pesquisa.

À toda minha família, minha mãe, minha irmã e meu pai pelo afeto. Aos meus avôs, José Ferreira e José Oliveira, que infelizmente partiram durante esta etapa da minha vida, mas que transmitiram seus maiores valores e foram fonte do maior e mais genuíno amor que recebi.

Aos meus colegas de estudo, que compartilharam tantos momentos comigo e tornaram essa jornada mais alegre, em especial ao meu amigo Maximilian Espuny.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

## RESUMO

Com o avanço tecnológico, aumentou-se a demanda por profissionais mais bem capacitados e capazes de atuarem em ambientes altamente tecnológicos. Dessa forma, atualizações nos modelos de ensino são essenciais para que todos os postos de trabalhos sejam preenchidos com os requisitos necessários, acompanhando o desenvolvimento das tecnologias. Nesse sentido, a Educação 4.0 é proposta para melhorar a qualidade da educação e contribuir com a formação de profissionais mais bem qualificados por meio da utilização de tecnologias da Indústria 4.0 (I4) e diferentes abordagens pedagógicas no processo de ensino-aprendizagem. Ela engloba elementos como a gamificação, aprendizagem baseada em problemas, e-learning, Inteligência Artificial, Realidade Virtual, dentre outros. Esta pesquisa teve como objetivo geral a elaboração de um framework com base nas tecnologias da I4 para a melhoria da relação do ensino-aprendizagem nos cursos de graduação em engenharia de produção. Para isso, foi realizada inicialmente a construção do cenário técnico-científico da Educação 4.0, o mapeamento das principais empresas desenvolvedoras de tecnologias educacionais e o levantamento das necessidades e demandas de professores e alunos em relação a aplicação das tecnologias da I4 nos cursos de engenharia de produção. Com base nessas informações, foi proposto um framework para potencializar o processo de ensino-aprendizagem nos cursos de engenharia de produção. O framework está estruturado com base nas principais tecnologias da I4 identificadas. A principal contribuição teórica-científica deste trabalho é a criação de um novo bloco de conhecimento que aprofunda e estende a literatura existente, acrescentando boas práticas, desafios e oportunidades identificados para aplicação das principais tecnologias da I4 na educação. A principal contribuição aplicada deste trabalho é possibilitar a modernização do processo ensino-aprendizagem e melhoria da capacitação dos profissionais demandados pela I4.

**PALAVRAS-CHAVE:** Educação 4.0. Indústria 4.0. Engenharia de Produção. Tecnologias Educacionais.

## ABSTRACT

With technological advances, the demand for better-trained professionals capable of working in highly technological environments has increased. Thus, updates in education models are essential for all jobs to be filled with the requirements, keeping up with the development of technologies. In this sense, Education 4.0 is proposed to improve the quality of education and contribute to the training of better-qualified professionals by using technologies from Industry 4.0 (I4) and different pedagogical approaches in the teaching-learning process. It encompasses elements such as gamification, problem-based learning, e-learning, Artificial Intelligence, and Virtual Reality, among others. This research had as a general objective the elaboration of a framework based on I4 technologies to improve the teaching-learning relationship in undergraduate courses in Production Engineering. To this end, it was initially performed the construction of the technical-scientific scenario of Education 4.0, the mapping of the main companies developing educational technologies, and the survey of the needs and demands of teachers and students regarding the application of I4 technologies in production engineering courses. Based on this information, a framework was proposed to enhance the teaching-learning process in production engineering courses. The framework is structured based on the main I4 technologies identified. The main theoretical-scientific contribution of this work is the creation of a new block of knowledge that deepens and extends the existing literature, adding best practices, challenges, and opportunities identified for the application of the main I4 technologies in education. The main applied contribution of this work is to enable the modernization of the teaching-learning process and the improvement of the training of professionals demanded by I4.

**KEYWORDS:** Education 4.0. Industry 4.0. Production Engineering. Education Technologies.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Caminho para a I4 .....  | 28 |
| Figura 2 – Evolução da educação .....   | 28 |
| Figura 3 – Classificação da pesquisa .....  | 34 |
| Figura 4 – Fluxo metodológico para desenvolvimento da pesquisa.....   | 35 |
| Figura 5 – Modelo da Aceitação de Tecnologia .....  | 38 |
| Figura 6 – Evolução do número de publicações sobre a I4 ao longo dos anos .....   | 43 |
| Figura 7 – Principais tecnologias da I4 .....   | 44 |
| Figura 8 – Palavras-chave utilizadas na pesquisa.....   | 48 |
| Figura 9 – Modelo da <i>Triple Helix</i> .....  | 49 |
| Figura 10 – Porcentagem de empresas identificadas por fonte de dados .....  | 67 |
| Figura 11 – Classificação das empresas mapeadas para cada Nível Educacional.....  | 73 |
| Figura 12 – Classificação das empresas mapeadas para cada Categoria de produtos/serviços                                | 73 |
| Figura 13 – Tecnologias mais utilizadas pelos respondentes .....  | 79 |
| Figura 14 – Demanda/oportunidade em relação à plataforma de tecnologia educacional .....                                | 80 |
| Figura 15 – Infraestrutura tecnológica e suporte técnico .....  | 81 |
| Figura 16 – Conhecimento necessário para empregar as tecnologias no processo de ensino-aprendizagem.....                | 82 |
| Figura 17 – Treinamento adequado para empregar e utilizar as tecnologias no processo de ensino-aprendizagem .....       | 82 |
| Figura 18 – Recursos tecnológicos necessários para empregar as tecnologias no ensino de engenharia de produção .....    | 83 |
| Figura 19 – Tecnologias da I4 que podem contribuir para a melhoria do ensino de engenharia de produção.....             | 84 |
| Figura 20 – Tecnologias da I4 que tem potencial de aumentar o engajamento dos discentes com conteúdo ensinado .....     | 84 |
| Figura 21 – Tecnologias da I4 que podem ser utilizadas sem muita complexidade no ensino de engenharia de produção ..... | 85 |
| Figura 22 – Tecnologias da I4 que são factíveis de aplicação no ensino de engenharia de produção .....                  | 85 |
| Figura 23 – Disposição para aprender a utilizar as tecnologias da I4 para o ensino .....                                | 86 |
| Figura 24 – Intenção de utilizar as tecnologias em suas aulas no curto ou médio prazo .....                             | 86 |
| Figura 25 – Tecnologias mais utilizadas pelos alunos.....   | 88 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 26 – Utilização da plataforma de tecnologia educacional.....  | 89 |
| Figura 27 – Infraestrutura tecnológica e suporte técnico .....   | 90 |
| Figura 28 – Tecnologias da I4 que podem contribuir para a melhoria do aprendizado nos cursos de engenharia de produção .....     | 91 |
| Figura 29 – Tecnologias da I4 que tem potencial de aumentar o engajamento com conteúdo ensinado .....                            | 91 |
| Figura 30 – Tecnologias da I4 que podem ser utilizadas sem muita complexidade no ensino de engenharia de produção .....          | 92 |
| Figura 31 – Tecnologias da I4 que são factíveis de aplicação no ensino de engenharia de produção .....                           | 92 |
| Figura 32 – Tecnologias que gostaria de utilizar nas suas aulas.....   | 93 |
| Figura 33 – Os professores possuem habilidades suficientes para utilizar as tecnologias no processo de ensino-aprendizagem ..... | 93 |
| Figura 34 – Framework para utilização das tecnologias da I4 no ensino de engenharia de produção .....                            | 98 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – <i>Clusters</i> das oportunidades científicas para E4 identificados nos artigos selecionados..... | 20 |
| Quadro 2 – Desafios para E4.....   | 32 |
| Quadro 3 – Blocos do questionário .....  | 39 |
| Quadro 4 – Vagas disponíveis para engenharia de produção no ano de 2020.....                                 | 40 |
| Quadro 5 – Taxa de Desistência de cada universidade selecionada .....  | 41 |
| Quadro 6 – Recomendações para desenvolvimento da E4.....   | 60 |
| Quadro 7 – Pesquisa Técnica.....   | 65 |
| Quadro 8 – Pesquisa Científica .....   | 66 |
| Quadro 9 – Pesquisa em <i>websites</i> empresariais.....   | 66 |
| Quadro 10 – Empresas EdTech Mapeadas .....   | 69 |
| Quadro 11 – Quantidade de empresas mapeadas para cada Categoria.....   | 74 |
| Quadro 12 – Tecnologias identificadas para cada Nível Educacional.....                                       | 75 |
| Quadro 13 – Tecnologias identificadas para Categoria de produtos/serviços .....                              | 75 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Países de destaque na E4.....                      | 50 |
| Tabela 2 – Características dos professores respondentes ..... | 77 |
| Tabela 3 – Características dos alunos respondentes .....      | 87 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|           |  |
|-----------|--|
| ABEPRO    | Associação Brasileira de Engenharia de Produção      |
| BNU       | Beijin Normal University                             |
| BD        | Big Data   |
| CC        | Cloud Computing                                      |
| CPS       | Cyber-physical system                                |
| DigComEdu | Digital Competence of Educators                      |
| ECNU      | East China Normal University                         |
| EdTech    | Tecnologias Educacionais                             |
| E4        | Educação 4.0   |
| EWU       | Ewha Womans University                               |
| FUP       | Facilidade de Uso Percebida                          |
| I4        | Indústria 4.0  |
| IA        | Inteligência Artificial                              |
| IUC       | Intenção de Uso Comportamental                       |
| IBM       | International Business Machines                      |
| IoS       | Internet of Services                                 |
| IoT       | Internet of Things                                   |
| KERIS     | Korea Education and Research Information Service     |
| LIVIE     | Learner-Immersed Virtual Interactive Expedition      |
| MoE       | Ministério da Educação de Taiwan                     |
| NSF       | Nation Science Foundation                            |
| NTNU      | National Taiwan Normal University                    |
| NTUST     | National Taiwan University of Science and Technology |
| NSCU      | NC State University                                  |
| ODS       | Objetivo de Desenvolvimento Sustentável              |
| ONU       | Organização das Nações Unidas                        |
| RFID      | Radio Frequency Identification                       |
| RA        | Realidade Aumentada                                  |
| RV        | Realidade Virtual                                    |
| STEM      | Science, Technology, Engineering and Mathematics     |
| TAM       | Technology Acceptance Model                          |
| TIC       | Tecnologias da Informação e Comunicação              |
| USP       | Universidade de São Paulo                            |
| UNITAU    | Universidade de Taubaté                              |
| UERJ      | Universidade do Estado do Rio de Janeiro             |
| UNESP     | Universidade Estadual Paulista                       |
| UNIFEI    | Universidade Federa de Itajubá                       |
| UFF       | Universidade Federal Fluminense                      |
| UA        | University of Arizona                                |
| UIUC      | University of Illinois at Urbana-Champaign           |
| USTL      | University of Science and Technology Liaoning        |
| UAS       | Uso Atual do Sistema                                 |
| UP        | Utilidade Percebida                                  |

## SUMÁRIO

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 15 |
| 1.1          | OBJETIVOS.....  | 17 |
| 1.2          | DELIMITAÇÃO DE PESQUISA .....   | 18 |
| 1.3          | JUSTIFICATIVA .....   | 18 |
| <b>2</b>     | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....  | 23 |
| 2.1          | ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.....   | 23 |
| 2.2          | INDÚSTRIA 4.0.....  | 24 |
| 2.3          | EDUCAÇÃO 4.0.....   | 27 |
| <b>3</b>     | <b>MÉTODO DE PESQUISA</b> .....   | 34 |
| 3.1          | CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....   | 34 |
| 3.2          | FLUXO METODOLÓGICO.....   | 35 |
| 3.3          | QUESTIONÁRIO .....  | 37 |
| <b>4</b>     | <b>IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA I4 E CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DA E4</b> ..... | 43 |
| 4.1          | PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DA I4.....   | 43 |
| 4.2          | CENÁRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DA E4.....   | 47 |
| <b>4.2.1</b> | <b>Estados Unidos</b> .....   | 51 |
| 4.2.1.1      | Indústria .....   | 51 |
| 4.2.1.2      | Governo .....   | 52 |
| 4.2.1.3      | Academia .....  | 52 |
| <b>4.2.2</b> | <b>China</b> .....  | 54 |
| 4.2.2.1      | Indústria.....  | 54 |
| 4.2.2.2      | Governo .....   | 54 |
| 4.2.2.3      | Academia .....  | 55 |
| <b>4.2.3</b> | <b>Taiwan e Coréia do Sul</b> .....   | 57 |
| 4.2.3.1      | Indústria .....   | 57 |
| 4.2.3.2      | Governo .....   | 58 |
| 4.2.3.3      | Academia .....  | 58 |
| <b>4.2.4</b> | <b>Recomendações para desenvolvimento da E4</b> .....   | 60 |
| <b>5</b>     | <b>TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS – EDTECH</b> .....  | 64 |
| <b>6</b>     | <b>ANÁLISE DAS RESPOSTAS AOS QUESTIONÁRIOS</b> .....  | 77 |
| 6.1          | ANÁLISE DAS RESPOSTAS DE PROFESSORES COLETADAS .....  | 77 |

|     |   |            |
|-----|---|------------|
| 6.2 | ANÁLISE DAS RESPOSTAS DE ALUNOS COLETADAS .....   | 87         |
| 6.3 | ANÁLISE DOS RESULTADOS.....   | 94         |
| 7   | <b>FRAMEWORK PARA SUPORTE AO ENSINO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO BASEADO NAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 .....</b>    | <b>98</b>  |
| 8   | <b>CONCLUSÃO.....</b>   | <b>101</b> |
|     | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>103</b> |
|     | <b>APÊNDICE A – OS 30 ARTIGOS MAIS CITADOS SOBRE EDUCAÇÃO E AS TECNOLOGIAS DA I4 NO PERÍODO DE 2015 A 2019.....</b> | <b>129</b> |
|     | <b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PROFESSOR .....</b>  | <b>132</b> |
|     | <b>APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO ALUNOS .....</b>   | <b>144</b> |
|     | <b>APÊNDICE D – IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS REUNIDAS NA I4.....</b>   | <b>153</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A educação de qualidade e acessível para todos é o quarto Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) e tem sido destaque em pautas internacionais nas últimas décadas. Isso se deve ao fato de a educação ser determinante para promover a melhoria das condições sociais e econômicas, sobretudo, para pessoas que vivem em situação de extrema pobreza (UN, 2020). Para atingir o ODS 4, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) são ferramentas importantes que podem ser utilizadas para aumentar o acesso ao ensino de qualidade (UNESCO, 2017). Um dos indicadores propostos pela ONU para mensurar a performance desse ODS está relacionado à porcentagem de jovens e adultos que possuem habilidades digitais e conseguem utilizar as TIC (UNESCO, 2018).

As TIC possibilitaram avanços de diversas ordens e impulsionaram mudanças na indústria, iniciando uma nova era que está sendo denominada de Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (I4). A I4 é caracterizada pela evolução na interação entre dispositivos eletrônicos, máquinas e pessoas. Ela viabiliza a integração das tecnologias desenvolvidas para auxílio à tomada de decisão em tempo real por meio de tecnologias como Cyber-Physical Systems (CPS), Internet of Things (IoT), Cloud Computing (CC), Big Data (BD), Realidade Virtual (VR), Realidade Aumentada (RA), etc. (LEE; BAGHERI; KAO, 2015; XU; XU; LI, 2018).

Apesar de todos os benefícios e oportunidades ocasionados pela I4, há diversos desafios que surgem durante sua implantação e consolidação nas organizações. Um dos principais desafios está relacionado com as transformações nos postos de trabalhos ocasionados pela I4. Há uma crescente demanda por profissionais com novas habilidades e competências, capazes de atuarem em ambientes altamente tecnológicos e dinâmicos (BENEŠOVÁ; TUPA, 2017; PEREIRA; ROMERO, 2017).

Nesse sentido, diversas iniciativas de reformulações do modelo de ensino têm sido propostas a partir do uso de tecnologias da I4 e de diferentes abordagens pedagógicas para fornecer educação de maior qualidade e tornar os profissionais mais bem qualificados. Essas reformulações estão originando uma verdadeira revolução no ensino, denominada de Educação 4.0 (E4) (ALMEIDA; SIMOES, 2019; MIAN *et al.*, 2020; VU, 2018).

A E4 utiliza as tecnologias da I4 e abordagens pedagógicas colaborativas, flexíveis e personalizadas para melhorar os métodos de ensino. Ela reúne elementos como gamificação, sala de aula invertida e tecnologias com objetivo de engajar e qualificar alunos, aumentando a eficácia do ensino-aprendizagem (AB RAHMAN; AHMAD; HASHIM, 2019; CHANG, S. C.; HWANG, 2018; POPENICI; KERR, 2017). A E4 abrange duas frentes que se complementam.

A primeira tem como objetivo desenvolver as habilidades e competências dos alunos e, para isso, é proposto a utilização de diferentes abordagens pedagógicas. E a segunda visa a inserção de tecnologias da I4 nos ambientes educacionais como instrumento de melhoria do processo de ensino-aprendizagem (BONFIELD *et al.*, 2020; HARIHARASUDAN; KOT, 2018).

A E4 está sendo adotada crescentemente em todos os níveis educacionais (infantil, fundamental, médio, tecnológico e superior), visando revolucionar e democratizar o acesso à educação de qualidade. No ensino superior, a utilização da E4 pode potencializar a relação ensino-aprendizagem, contribuir com o enfrentamento dos desafios relacionados a complexidade dos ambientes altamente tecnológicos impulsionados pela I4 e viabilizar o surgimento de novas pesquisas e desenvolvimento de tecnologias mais avançadas. Além disso, a E4 pode ser utilizada em diversos cursos e diferentes áreas como no ensino de medicina, arquitetura, engenharia, dentre outros (BENIS; NELKE; WINOKUR, 2021; COSTA; SANTOS; OLIVEIRA, 2022; VU, 2018).

No âmbito da engenharia, os engenheiros de produção são diretamente impactados pelas transformações digitais que estão acontecendo nas organizações (PIWOWAR-SULEJ, 2021). Esses profissionais atuam de forma fundamental em todas as etapas da cadeia produtiva e do ciclo de vida do produto, desde o fornecimento da matéria-prima, planejamento da produção, gestão da qualidade até a logística de distribuição e atendimento ao cliente. Os engenheiros de produção estão envolvidos, cada vez mais, com o desenvolvimento de novos produtos, serviços, processos e projetos tecnológicos baseadas nas tecnologias da I4 (CHONG *et al.*, 2018; PIWOWAR-SULEJ, 2021; ZUTSHI; GRILO, 2019).

Dessa forma, é essencial o aprimoramento dos cursos de engenharia de produção, de modo que os conceitos, os princípios e as principais tecnologias da I4 sejam englobados nas grades curriculares desses profissionais durante sua formação acadêmica, permitindo-os preencher as lacunas e os desafios provindos dessa revolução (SALAH *et al.*, 2020; ZUTSHI; GRILO, 2019). Para isso, é necessário promover um ambiente de ensino que viabiliza o aprendizado sobre a I4, por meio da criação e aplicação de atividades educacionais com interações tecnológicas, que desenvolvam habilidades digitais e familiaridade com a I4 (SACKEY; BESTER; ADAMS, 2017; SALAH *et al.*, 2019).

Nesse sentido, políticas e iniciativas estão sendo propostas para melhorar a formação acadêmica desses profissionais e enfrentar os desafios globais da indústria e sociedade, tais como: oferecimento de minicursos, seminários e workshops sobre a I4; aprimoramento dos laboratórios com tecnologias I4; desenvolvimento e integração de plataformas de *e-learning* e softwares de simulação com as principais tecnologias da I4; e criação de parcerias e projetos

colaborativos com a indústria, visando fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias (COSTA; SANTOS; OLIVEIRA, 2021; MIAN et al., 2020).

Contudo, as tecnologias da I4 representam uma gama de possibilidade de aplicações educacionais e a sua utilização deve ser proposta com base na demanda e necessidade de alunos e professores e, nos fatores que interferem sua aceitação pelas partes interessadas. É de suma importância que sejam investigadas e analisadas quais são as tecnologias e as funcionalidades disponíveis mais adequadas para utilização em um nível educacional específico antes do investimento e aquisição da ferramenta tecnológica. Dessa forma, a implementação da tecnologia educacional no processo de ensino-aprendizagem será mais eficaz e bem-sucedida (AL-EMRAN; MEZHUYEV; KAMALUDIN, 2018; CROMPTON; BURKE, 2018).

Diante do exposto, a questão norteadora desta pesquisa é: como as tecnologias da I4 podem ser adaptadas à educação para potencializar a relação ensino-aprendizagem em cursos de engenharia de produção? Por meio desse questionamento, busca-se identificar e adaptar as tecnologias da I4 no ambiente educacional para proposição de um framework, visando o preenchimento dessa lacuna e a melhoria na qualidade da educação nos cursos de engenharia de produção.

## 1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo geral a elaboração de um framework com base nas tecnologias da Indústria 4.0 com vistas a melhoria da relação do ensino-aprendizagem nos cursos de graduação em engenharia de produção.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar as tecnologias disponíveis na I4 que podem ser aplicadas no ensino;
- Identificar as tecnologias que já estão sendo utilizadas na E4; e
- Identificar as demandas/oportunidades de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 no processo de ensino-aprendizagem com base em um *survey* com professores e alunos de cursos de graduação em engenharia de produção da região do Vale do Paraíba e Sul de Minas.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DE PESQUISA

A fim de garantir a exequibilidade desta pesquisa, restringiu-se seu escopo em relação a identificação de tecnologias e a investigação das oportunidades no ensino-aprendizagem, ao objeto de estudo (Educação 4.0), ao tipo de organização (instituição de ensino superior), ao curso de graduação (engenharia de produção) e a área geográfica (Taubaté, Guaratinguetá, Lorena, Resende, Volta Redonda e Itajubá).

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Na medida em que as organizações industriais adotam as tecnologias da I4, grandes transformações acontecem nos seus postos de trabalho. Os resultados dessas mudanças foram evidenciados em um relatório divulgado pelo Fórum Econômico Mundial em 2018. Nesse relatório foi estimado que as organizações industriais irão automatizar em 13% suas atividades no período de 2018 a 2022. Dentre as organizações consultadas, 25% esperam que essa automatização proporcione a criação de novos postos de trabalhos. Além disso, é previsto que o saldo de emprego resultante após o processo de automatização seja positivo, portanto, haverá mais vagas de trabalho ofertadas do que fechadas (FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL, 2018; VU, 2018).

Entretanto, o que se nota, é que em países emergentes como o Brasil, não estão sendo aproveitados os benefícios proporcionados por meio da implementação da I4, devido a diversos desafios e barreiras (DALENOGARE *et al.*, 2018). Um dos desafios está relacionado ao perfil solicitado para preencher essas novas vagas, tendo em vista que os ambientes complexos e tecnológicos da I4 demandam por profissionais com habilidades e competências específicas bem desenvolvidas (BENEŠOVÁ; TUPA, 2017; GHOBAKHLOO, 2018; VOLCHENKOVA, 2019).

Diante disso, alguns países têm apresentado a reformulação dos modelos de ensino como fator chave para melhorar a competitividade do setor industrial e aproveitar as oportunidades de crescimento e desenvolvimento econômico proporcionados pela I4. Os países como a China, Tailândia, África do Sul e Indonésia estão aprimorando suas estruturas de ensino para superar os desafios e preparar seus profissionais para a I4. Esses países estão investindo amplamente na educação para viabilizar a adoção de tecnologias educacionais e novas abordagens pedagógicas no processo de ensino-aprendizagem (BUASUWAN, 2018; LI, L., 2018; SACKEY; BESTER; ADAMS, 2017).

Nesse sentido, a E4 tem papel fundamental para contribuir com o enfrentamento dos desafios da I4, formando profissionais melhores qualificados e capacitados para aproveitar as oportunidades dos ambientes organizacionais transformados pela I4 (REIS et al., 2020). Com isso, será possível melhorar a qualidade da educação, aumentar a competitividade do setor industrial e alcançar melhores resultados socioeconômicos para o país (UMACHANDRAN *et al.*, 2019). Dessa forma, é necessário identificar e compreender quais são as oportunidades e desafios encontrados no desenvolvimento da E4. Por isso, considerando a importância e a fim de contribuir com o avanço da I4 por meio do desenvolvimento da E4, nesta pesquisa foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre o tema.

A revisão sistemática da literatura é um método de pesquisa pautado na análise crítica que permite identificar os estudos e iniciativas mais relevantes e recentes sobre o tema (CRONIN; RYAN; COUGHLAN, 2008). Para isso, foi conduzida uma pesquisa bibliométrica com base nos 30 artigos mais relevantes da E4, que foram selecionados da base Scopus no período de 2015 a 2020. Esses artigos estão apresentados no Apêndice A. A base de dados científicos Scopus foi escolhida por ser uma das mais abrangentes do mundo, permitindo encontrar trabalhos publicados pelos periódicos mais relevantes do tema (MONGEON; PAUL-HUS, 2016; PRANCKUTĖ, 2021). O período foi escolhido porque os estudos publicados nos últimos cinco anos consolidam e expandem os trabalhos anteriores na literatura sobre o assunto e representam práticas reais e atuais no tema. Além disso, os artigos estudados nesta pesquisa foram filtrados pela língua inglesa, que é a mais utilizada no meio científico para disseminação do conhecimento (OLIVEIRA et al., 2019).

A partir dos artigos selecionados, as oportunidades foram identificadas e sistematizadas por meio da análise de conteúdo. As oportunidades científicas são tópicos importantes que podem ser explorados para o avanço da literatura sobre E4 e para o desenvolvimento de suas práticas. Em seguida, elas foram agrupadas segundo suas similaridades e discutidas à luz da literatura, originando os *clusters* apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – *Clusters* das oportunidades científicas para E4 identificados nos artigos selecionados

| <i>Cluster</i>  | Artigos   |
|---|---|
| 1 - Criar metodologias para a inserção da E4 na formação de professores   | Benešová e Tupa (2017); Ghavifekr e Rosdy (2015); Gil-Flores, Rodríguez-Santero e Torres-Gordillo (2017); Gupta, Goul e Dinter (2015); Scherer, Siddiq e Teo (2015); Valtonen et al. (2015); Wei et al. (2015)  |
| 2 - Mapear as habilidades e competências importantes para profissionais atuarem na I4 e introduzi-las nas grades curriculares | Benešová e Tupa (2017); Gil-Flores, Rodríguez-Santero e Torres-Gordillo (2017); Gupta, Goul e Dinter (2015)   |
| 3 – Propor soluções para integração de tecnologias e abordagens de ensino para a E4   | Akçayir et al. (2016); Alhalabi (2016); Almohammadi et al. (2017); Arpacı (2017); Huang, Chen e Chou (2016); Huda et al. (2017); Jensen e Konradsen (2018); Le, Pedro e Park (2015); Lu e Liu (2015); Sabi et al. (2016); Shiau e Chau (2016); Tashkandi e Al-Jabri (2015); Yilmaz (2016) |
| 4 - Investigar os impactos e desafios da integração das tecnologias da I4 ao ensino   | Akçayir et al. (2016); Alhalabi (2016); Chang e Hwang (2018); Daniel (2015); González-Martínez et al. (2015); Huang, Liaw e Lai (2016); Hwang et al. (2016); Martín-Gutiérrez et al. (2015); Skryabin et al. (2015); Tashkandi e Al-Jabri (2015); Yilmaz (2016)                           |

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O primeiro *cluster* de oportunidades identificado foi sobre o desenvolvimento de metodologias para a inserção da E4 na formação de professores. Os professores são um dos principais responsáveis pela aplicação das novas tecnologias e abordagens da E4 na sala de aula. Entretanto, a complexidade de algumas TIC e a falta de habilidade digital dificultam a sua utilização. Os principais fatores que influenciam a adoção das tecnologias da E4 por professores são as suas habilidades, conhecimentos e a percepção da utilidade destas tecnologias (GIL-FLORES; RODRÍGUEZ-SANTERO; TORRES-GORDILLO, 2017; SCHERER; SIDDIQ; TEO, 2015). Portanto, é de grande relevância que os professores estejam devidamente capacitados e motivados para que se engajem o uso das tecnologias educacionais (VALTONEN *et al.*, 2015).

O segundo *cluster* é referente a necessidade de se mapear as habilidades e competências importantes para profissionais atuarem na I4 e introduzi-las nas grades curriculares. Dentre as habilidades mais valorizadas no século XXI estão a criatividade, pensamento crítico, a resolução de problemas, a comunicação, a colaboração e o conhecimento sobre tecnologias.

Assim, os ambientes de aprendizagem devem utilizar tecnologias e abordagens de ensino que permitam que os alunos desenvolvam as habilidades e competências demandadas pela sociedade moderna. Portanto, é importante que elas sejam identificadas e inseridas nas grades curriculares de escolas e universidades (HUDA *et al.*, 2017; VALTONEN *et al.*, 2015).

O terceiro *cluster* ressalta a necessidade da proposição de soluções para integração de tecnologias e abordagens de ensino para a E4. Muitos estudos têm comprovado que integrar as tecnologias da I4 com a educação melhora a aprendizagem dos alunos e facilita o ensino. As TIC, por exemplo, têm sido utilizadas em diversos países como forma de disponibilizar conhecimento para os alunos dentro e fora das salas de aula e integrar comunidades de profissionais para que estes possam compartilhar as boas práticas de ensino e aprendizagem e melhorar a qualidade da educação (GIL-FLORES; RODRÍGUEZ-SANTERO; TORRES-GORDILLO, 2017; SKRYABIN *et al.*, 2015; VALTONEN *et al.*, 2015). Tecnologias como RV e RA se destacam ao permitir a interação dos alunos com representações da realidade em ambientes 3D e por simularem conceitos abstratos, facilitando a aprendizagem e melhorando a performance acadêmica dos alunos (ALHALABI, 2016; CHANG, S. C.; HWANG, 2018; LE; PEDRO; PARK, 2015; WEI *et al.*, 2015). Portanto, o desenvolvimento de tecnologias com aplicabilidade em diferentes matérias é uma grande oportunidade que pode ser explorada cientificamente para o desenvolvimento da E4.

O quarto *cluster* é referente a importância de estudos que mensurem os impactos do uso das tecnologias da E4 nas salas de aula, ajudando a mapear as áreas com maior potencial para a aplicação destas tecnologias e identificando os principais desafios enfrentando por elas. A mensuração dos ganhos com essas aplicações, pode guiar os investimentos em tecnologias e apoiar a expansão de suas aplicações para diferentes tópicos de ensino (HWANG *et al.*, 2016; MARTÍN-GUTIÉRREZ *et al.*, 2015; YILMAZ, 2016). Já a identificação dos desafios de desenvolvimento da E4 pode impulsionar a busca por soluções para facilitar suas aplicações (AKÇAYIR *et al.*, 2016; TASHKANDI; AL-JABRI, 2015).

Dessa forma, é importante a realização de mais estudos que proponham soluções para superar os desafios tecnológicos da E4 e aproveitar suas oportunidades e benefícios, tendo em vista o seu grande potencial para melhorar o ensino e formar profissionais mais bem capacitados para a sociedade. Sendo assim, este trabalho permite preencher as lacunas científicas indicadas no terceiro *cluster* relacionadas a necessidade da integração das tecnologias da I4 com a educação (Akçayır and Akçayır, 2017; Arpacı, 2017; Huang *et al.*, 2016); e no quarto *cluster*, visando a identificação e solução dos principais desafios relacionados a essa integração (SKRYABIN *et al.*, 2015; TASHKANDI; AL-JABRI, 2015; YILMAZ, 2016).

Portanto, este trabalho pretende explorar o tema da E4, identificando as tecnologias que viabilizam e melhoram o processo de ensino-aprendizagem para proposição de um framework. O framework está direcionado ao ensino de nível superior, mais especificamente, nos cursos de engenharia de produção. Com isso, espera-se que ele possa ser subsídio para o desenvolvimento de um *software*/aplicativo em trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção tem como objetivo revisar a literatura científica para expor os fundamentos teóricos sobre a engenharia de produção, I4 e a E4. Primeiramente, os conceitos da engenharia de produção são revisados e posteriormente, os princípios que englobam a I4 e a E4 são apresentados.

### 2.1 ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, diferentes cursos de engenharia surgiram visando suprir as demandas da sociedade e das organizações, tais como, a engenharia elétrica, eletrônica, computação, produção etc. A engenharia de produção é fundamental para aumentar a competitividade das organizações e melhorar seus resultados, contribuindo para o desenvolvimento contínuo do setor industrial. Ela abrange conceitos de diferentes áreas como mecânica, administração, direito, dentre outras, formando profissionais multidisciplinares e capazes de enfrentar os desafios socioeconômicos (KHARE; BAJPAI; BHARATI, 2015; REVILLA-CUESTA *et al.*, 2021).

No Brasil, a ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção) é responsável por representar os alunos e profissionais da área de engenharia de produção, sendo referência para as instituições de ensino superior. Ela propôs a organização do curso em 10 grandes áreas, que são: Engenharia de Operações e Processos da Produção; Logística; Pesquisa Operacional; Engenharia da Qualidade; Engenharia do Produto; Engenharia Organizacional; Engenharia Econômica; Engenharia do Trabalho; Engenharia da Sustentabilidade; e Educação em engenharia de produção (ANJOS *et al.*, 2020).

Os engenheiros de produção são profissionais capazes de desenvolver, implementar e melhorar projetos e processos organizacionais, tornando-os mais eficazes e contribuindo para a sobrevivência econômica de organizações. Para isso, esses profissionais aplicam técnicas e ferramentas que os auxiliam na identificação de desvios, análise de falhas e melhoria contínua de processos e resultados das organizações (FOX, 2021; KHARE; BAJPAI; BHARATI, 2015).

Além disso, os engenheiros de produção têm papel fundamental no desenvolvimento de projetos tecnológicos para as organizações. Esses profissionais conseguem identificar pontos específicos de melhorias, nos quais as tecnologias devem ser utilizadas, proporcionando desenvolvimento tecnológico e econômico para a empresa. Mas para isso, é importante que

esses profissionais estejam familiarizados com as tecnologias, sobretudo, as mais relevantes e atuais (PIWOWAR-SULEJ, 2021; ZUTSHI; GRILO, 2019)

No Brasil, a quantidade de cursos de engenharia de produção ofertados pelas universidades tem aumentado significativamente nas últimas décadas. Isso pode estar relacionado com o fato de que os profissionais dessa área contribuem diretamente para o aumento da competitividade das organizações. Para isso, é essencial que esses profissionais estejam preparados para atuarem nos ambientes que eles encontrarão quando estiverem formados. Contudo, nota-se que há ainda uma lacuna na oferta de profissionais com formação de qualidade e com as competências e habilidades demandadas (SANTOS *et al.*, 2017).

Nesse sentido, os cursos de engenharia de produção devem ser frequentemente atualizados com temas relevantes e contemporâneos. Os engenheiros de produção devem estar contextualizados com o cotidiano da sua profissão e capacitados de acordo com as demandas do mercado de trabalho. Por isso, integrar os elementos da I4 no ensino da engenharia tornou-se fundamental para formar profissionais qualificados com habilidades e competências desenvolvidas de acordo com a necessidade das organizações (BUYURGAN; KIASSAT, 2017; SALAH *et al.*, 2020).

## 2.2 INDÚSTRIA 4.0

As revoluções industriais são movimentos nos quais diferentes métodos e processos de produção são inseridos nas organizações, visando aumentar sua competitividade e melhorar sua produtividade. Até o ano de 2020, quatro revoluções industriais se destacavam na história. A primeira contemplou o começo da manufatura em substituição a atividade artesanal, iniciando a utilização de máquinas a vapor. A segunda representou a fabricação em massa, utilizando linhas de montagem e energia elétrica. A terceira foi caracterizada pelo avanço da eletrônica e possibilitou a automatização dos processos industriais e a utilização de robôs (GHOBAKHLOO, 2018; PEREIRA; ROMERO, 2017; ROJKO, 2017).

Ao contrário das três primeiras revoluções industriais, a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (I4) surgiu a partir de uma estratégia do governo alemão em parceria com a academia e a indústria para tornar suas organizações industriais mais autônomas, flexíveis e colaborativas. O termo “*Industrie 4.0*” foi utilizado pela primeira vez durante a feira *Hannover Messe* na Alemanha em 2011 e se popularizou com o lançamento do plano do governo *High-Tech Strategy 2020*, que visava o crescimento econômico do país por meio do desenvolvimento

tecnológico avançado das suas indústrias (GHOBAKHLOO, 2018; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016; WANG *et al.*, 2016a)

Iniciativas governamentais similares começaram a surgir em outras potenciais mundiais como nos Estados Unidos com o *Advanced Manufacturing* e na China com o *Made-in-China 2025*. Todos esses programas visam aumentar a competitividade e melhorar os resultados econômicos do setor industrial. Para isso, é essencial que os processos produtivos sejam flexíveis e consigam atender as variações de demanda do mercado (DALENOGARE *et al.*, 2018; LIAO *et al.*, 2017; XU; XU; LI, 2018).

A flexibilização da indústria pode ser alcançada com o desenvolvimento de uma fábrica inteligente (*smart factory*), que integra produtos inteligentes (*smart product*) por meio das tecnologias como IoT, IA e CPS. Os produtos inteligentes são conectados, controlados e rastreados durante todo o processo produtivo. Eles compartilham seus dados e informações para que possam atender as demandas produtivas de forma flexível e autônoma (CHEN, B. *et al.*, 2017; FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019; WANG *et al.*, 2016b).

Sendo assim, a implantação do chamado CPS nas organizações é necessário para reunir e gerir as informações do mundo físico no virtual (ZHENG *et al.*, 2018). Desse modo, os elementos envolvidos na cadeia produtiva como máquinas, robôs e produtos podem ser controlados e monitorados por meio de um conjunto de tecnologias e dispositivos como sensores, atuadores e computadores. Portanto, a principal mudança de paradigma proposta pela I4 refere-se a ampla utilização e interação das tecnologias com o homem durante todo o processo produtivo em tempo real (LU, Y., 2017; THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Na I4, as tecnologias implementadas são responsáveis por gerar, coletar, armazenar, analisar e gerir grande quantidade de dados. Esses dados são coletados por dispositivos eletrônicos e transferidos para servidores por meio de conexão em rede (ZHONG *et al.*, 2017). Dessa forma, as diversas tecnologias que são empregadas como IoT, BD, CC, IA são fundamentais para fornecer, analisar e disponibilizar as informações em tempo real, auxiliando a tomada de decisão mais eficiente e assertiva (HOFMANN; RÜSCH, 2017; WANG *et al.*, 2016a).

Contudo, para alcançar os objetivos da I4 é necessário que haja três tipos de integração nas organizações industriais: Horizontal, Vertical e Digital. A primeira refere-se à criação de uma rede colaborativa, englobando todas as etapas da cadeia, desde os fornecedores até a logística. O segundo tipo de integração tem como objetivo a integração e conexão dos setores hierárquicos e internos da organização, como recursos humanos, planejamento da produção e vendas, para viabilizar a produção inteligente. A última refere-se à integração entre as áreas de

engenharia e desenvolvimento de novos produtos personalizados, visando atender, de forma flexível, personalizada e competitiva, as demandas dos clientes (LIAO *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2016a).

Os benefícios da I4 podem ser alcançados por meio da implementação da produção inteligente. Dentre eles, destacam-se: redução no consumo de energia; melhoria no gerenciamento e nos resultados econômicos; e aumento na produtividade e competitividade. Além disso, muitas organizações estão aproveitando para mudarem seus modelos negócios, optando por oferecer cada vez mais prestação de serviços em seus produtos, visando o agregar mais valor a eles (CHEN, B. *et al.*, 2017; HOFMANN; RÜSCH, 2017; LI, Xiaomin *et al.*, 2017).

Entretanto, a implementação da I4 tem diversas dificuldades a serem superadas, tais como o desenvolvimento de algoritmos capazes de realizar a mineração de dados de forma eficiente, oferecendo análises pertinentes e informações relevantes aos tomadores de decisão. Além disso, a implantação da I4 demanda por investimentos em sistemas inteligentes, o que pode gerar alto custo de implantação. Cabe ressaltar também que para o bom funcionamento das fábricas inteligentes deve ser utilizado alto nível de segurança cibernética e privacidade de dados e, conexão de rede de boa qualidade (LASI *et al.*, 2014; LU, Y., 2017; THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017; WOLLSCHLAEGER; SAUTER; JASPERNEITE, 2017). Além disso, é indispensável que haja uma mudança cultural dentro das organizações para que a I4 seja consolidada. Há também uma demanda por profissionais qualificados e com alto nível de instrução (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Por isso, a I4 está sendo cada vez mais estudada e incentivada desde o seu surgimento. Suas aplicações abrangem áreas além do processo produtivo. Na logística, a I4 é de suma importância para viabilizar a rastreabilidade dos produtos durante todo o seu ciclo de vida, fornecendo informações em tempo real, que melhoram o planejamento da cadeia de valor e a gestão de riscos relacionadas a entregas (HOFMANN; RÜSCH, 2017). Já na indústria da Construção Civil, as tecnologias como CC, IoT e RV estão sendo fortemente utilizadas, visando a melhoria dos resultados financeiros, redução de acidentes e diminuição de danos ambientais (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Além disso, muitos estudos ampliam a implantação da I4 aliada aos conceitos do *Lean Manufacturing*. Nesse sentido, a automação e o uso das tecnologias da I4 possibilitam a identificação e redução de desperdícios, melhoria do controle e integração das informações no processo e entre os fornecedores, melhorando o fluxo de informações e diminuindo o tempo de resposta. Os sistemas eletrônicos estão sendo propostos para apoiar e melhorar o controle da

produção enxuta, a manutenção de máquinas e a diminuição no número de produtos com defeito (CHEN, B. *et al.*, 2017; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

Na esfera ambiental, a I4 e suas tecnologias têm papel importante para desenvolver um sistema de produção que contribui com a diminuição do impacto ambiental gerados pelas organizações. Por meio de softwares de simulações, coleta e análise de dados, é possível otimizar o uso e consumo dos recursos naturais, diminuir a quantidade de transportes, melhorar o fluxo de materiais e diminuir as falhas no processo produtivo. Além disso, o uso da tecnologias da I4 permite superar alguns desafios da Economia Circular relacionados a gestão do ciclo de vida do produto, possibilitando seu rastreamento pós consumo (JABBOUR *et al.*, 2018; MÜLLER; KIEL; VOIGT, 2018).

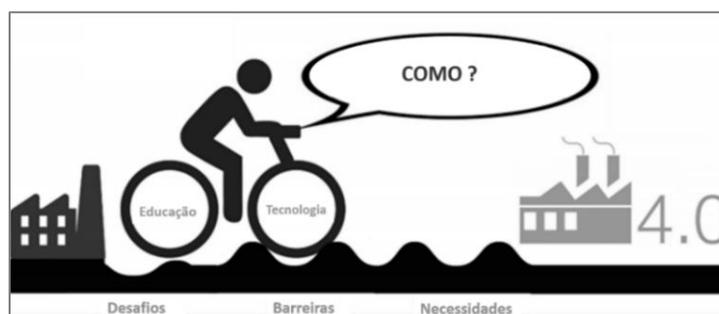
### 2.3 EDUCAÇÃO 4.0

As inovações e tecnologias avançadas reunidas na I4 enfrentam diversos desafios para ser implementada e consolidada nas organizações. Um dos principais desafios está relacionado com a demanda por profissionais com novas habilidades técnicas e socioemocionais como habilidades digitais, interpessoais, tecnológicas, criativas e inovadoras (BENEŠOVÁ; TUPA, 2017; PEREIRA; ROMERO, 2017; WORLD ECONOMIC FORUM, 2020). Para superar esse desafio, a educação tem papel fundamental na formação de profissionais melhores qualificados e de proporcionar melhorias na qualidade de vida das pessoas (ALVARENGA *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a E4 está sendo proposta para apoiar a I4 e as mudanças na sociedade por meio da integração das tecnologias na educação e da utilização de novas abordagens pedagógicas (HARIHARASUDAN; KOT, 2018). Esse novo modelo de ensino-aprendizagem conhecido por E4 é direcionado ao desenvolvimento das habilidades e competências dos alunos, incorporando tecnologias inovadoras da quarta revolução industrial ao ensino. Assim como na I4, a E4 amplia a utilização de tecnologias, visando aumentar a eficiência do ensino e tornar mais flexível o processo de aprendizagem (CIOLACU *et al.*, 2017; HARIHARASUDAN; KOT, 2018; MOURTZIS *et al.*, 2018).

Dessa forma, a E4 engloba atividades *online* com conteúdo disponível em plataformas digitais aperfeiçoadas com recursos de IA, CC, RV, BD, dentre outros, para melhorar o processo de ensino-aprendizagem, dentro e fora das salas de aulas. Como exemplificado na Figura 1, a adição desses recursos tecnológicos na educação torna-se um meio facilitador para superar os desafios, barreiras e necessidades incorporados pelas I4 (CIOLACU *et al.*, 2017; MOURTZIS *et al.*, 2018).

Figura 1 – Caminho para a I4

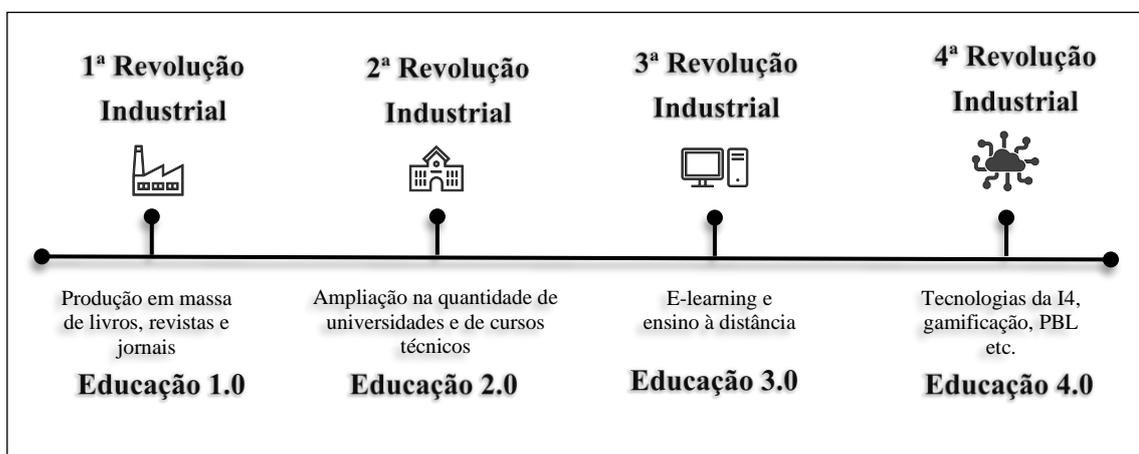


Fonte: Adaptado de Mourtzis et al. (2018).

Sendo assim, a E4 abrange duas frentes que se complementam. A primeira tem como objetivo desenvolver as habilidades e competências de alunos, capacitando-os de acordo com necessidades das fábricas que empregam as tecnologias da I4 e, para isso, tem utilizado novas abordagens de ensino, tais como aprendizagem baseada em projetos, gamificação, sala de aula invertida etc. E a segunda visa a inserção de tecnologias da I4 nos ambientes educacionais como instrumento de melhoria do processo de ensino-aprendizagem (BONFIELD *et al.*, 2020; HARIHARASUDAN; KOT, 2018).

A E4 é resultado da evolução constante nos modelos educacionais, visando apoiar o desenvolvimento socioeconômico da sociedade (KOUL; NAYAR, 2021). Essas revoluções identificadas na educação podem ser relacionadas diretamente com surgimento das tecnologias emergentes das revoluções industriais (HARTONO *et al.*, 2018; HENDRADI; KHANAPI; MAHFUZH, 2019). A interação entre as revoluções industriais e a educação está representado na Figura 2.

Figura 2 – Evolução da educação



Fonte: Elaborada pela autora com base em Bonfield et al. (2020), Li (2020) e Yusuf et al. (2020).

A educação inicia-se na história restrita a uma parcela da sociedade, sendo transmitida por religiosos, que alfabetizavam e ensinavam conhecimentos básicos (SULAIMAN; SUID; BIN IDRIS, 2018). Com a primeira revolução industrial, o conhecimento foi expandido e disseminado por meio de livros, jornais e novas universidades (VU, 2018). A segunda revolução industrial ampliou a quantidade de universidades e escolas técnicas, devido à alta demanda, sobretudo, por engenheiros e técnicos nesse período (LI, L., 2020). A invenção dos computadores e o surgimento da Internet durante a terceira revolução industrial, possibilitou a criação do e-learning e a popularização dos cursos à distância (YUSUF; WALTERS; SAILIN, 2020). A quarta revolução tem viabilizado o uso de tecnologias como IA, BD e CC nos ambientes educacionais para melhorar o processo de ensino-aprendizagem (BONFIELD *et al.*, 2020).

Com a integração das tecnologias da I4 na educação, o ensino volta-se para o aluno, considerando que cada indivíduo possui necessidades específicas de aprendizagem e absorção de conteúdo. Para os alunos nativos digitais, ou seja, alunos que nasceram em uma sociedade já conectada e digital, é mais fácil integrar inovações tecnológicas às abordagens de ensino. Quando esse tipo de aluno está imerso em um ambiente com tecnologias, o engajamento com o conteúdo ensinado é maior e seu desempenho melhora. Mesmo para os alunos que não são nativos digitais, o uso das tecnologias nas salas de aula é importante para melhorar o processo de ensino-aprendizagem, tornando-o mais interativo e atrativo (GHAVIFEKR; ROSDY, 2015; HUANG, T. C.; CHEN; CHOU, 2016).

Nesse sentido, há diversas tecnologias da I4 que podem ser aplicadas nos ambientes de ensino para motivar os alunos e apoiar professores. Entre as principais, destacam-se: RA, RV, CC, BD e IA (HUANG, T. C.; CHEN; CHOU, 2016; SHIAU; CHAU, 2016; WEI *et al.*, 2015).

A RA possibilita que objetos virtuais em vídeos sejam visualizados no ambiente real por meio de câmeras de tablets ou smartphones. Essa tecnologia permite a melhoria do processo ensino-aprendizagem e aumento da colaboração e motivação dos alunos. Ela pode ser aplicada para simulações de atividades práticas de diversas áreas como física, engenharia e arquitetura (AKÇAYIR; AKÇAYIR, 2017; BATISTA *et al.*, 2020; HUANG, H. M.; LIAW; LAI, 2016).

A RV proporciona a imersão dos alunos em um ambiente virtual para realização do ensino de maneira mais interativa. Ela pode ser usada para simular práticas experimentais que são difíceis de reproduzir devido a questões de segurança e/ou custo. Essa tecnologia pode ser aplicada em todos os níveis da educação, como por exemplo na formação de médicos, pilotos e no ensino de ciências para crianças. A RV tem sido utilizada por professores e alunos,

entretanto, necessita do desenvolvimento de mais softwares para ampliar seu uso (ALHALABI, 2016; JENSEN; KONRADSEN, 2018; TAKALA *et al.*, 2016).

Cada vez mais utilizada nas plataformas de ensino, a CC fornece serviço de armazenamento e gerenciamento de arquivos em rede. A tecnologia permite que seus usuários acessem de forma simples o seu conteúdo a qualquer momento e em qualquer lugar. São exemplos de aplicativos em cloud: Google Apps, Dropbox e OneDrive. A CC traz facilidade no uso e no acesso a documentos, maior colaboração entre os alunos e a redução nos custos em hardware e suporte de TI. Seu principal desafio está na segurança do compartilhamento dos dados e a necessidade de conexão de Internet de alta velocidade para seu funcionamento (GONZÁLEZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2015; SABI *et al.*, 2016; SHIAU; CHAU, 2016).

O BD é uma das tecnologias da I4 que permite a análise de grande quantidade de dados com objetivo de apoiar a tomada de decisão em diversas áreas da sociedade. Na educação, o BD pode ser usado para analisar padrões no desempenho acadêmico ao longo do período letivo e, com isso, descobrir alunos em risco de reprovação e possibilitar que professores realizem ações personalizadas no ensino para esses alunos. Entretanto, a aplicação dessa ferramenta tem alto custo de implantação, podendo se tornar complexa quando os dados estão descentralizados e em diferentes formatos (ALMOHAMMADI *et al.*, 2017; DANIEL, 2015; HUDA *et al.*, 2017).

A IA é uma tecnologia da I4 que está sendo amplamente aplicada para analisar dados e realizar o processo de tomada de decisão. No ensino, essa solução está sendo usada para complementar o papel dos professores e auxiliar os alunos no processo ensino-aprendizagem. A IA possibilita que os professores personalizem o conteúdo para cada aluno a partir da análise dos seus pontos fortes e fracos. Essa tecnologia também permite que as dúvidas dos alunos sejam sanadas de forma rápida por meio de assistentes virtuais inteligentes nos ambientes de aprendizagem (ALMOHAMMADI *et al.*, 2017; POPENICI; KERR, 2017; TERZOPOULOS; SATRATZEMI, 2020).

Além disso, a E4 utiliza diferentes abordagens pedagógicas com objetivo de trazer os alunos para o centro da aprendizagem, aplicando os conceitos teóricos em práticas que simulam a realidade. Por meio delas, os alunos desenvolvem competências importantes e são avaliados conforme suas habilidades. As principais abordagens pedagógicas são: aprender fazendo (*learning by doing*), aprendizado baseado em problemas (*problem-based learning*) e gamificação (*gamification*) (HARIHARASUDAN; KOT, 2018; MOURTZIS *et al.*, 2018).

No “aprender fazendo”, os alunos são incentivados a colocar em prática os conceitos teóricos aprendidos em sala para uma melhor absorção do conteúdo (ALMEIDA; SIMOES, 2019). Dessa forma, os alunos tornam-se mais engajados e mais capacitados para enfrentar os

desafios que irão encontrar no seu dia-a-dia (COSME *et al.*, 2019). Uma maneira de exercitar essa abordagem é por meio da utilização do aprendizado baseado em problemas.

O “aprendizado baseado em problemas” propõe a resolução de problemas reais a partir do conhecimento de conceitos teóricos. Nessa abordagem, os alunos são apresentados a problemas reais, que devem ser resolvidos por meio do trabalho em equipe, estimulando a criatividade e senso crítico nos ambientes educacionais (FIDAN; TUNCEL, 2019; LAFORCE; NOBLE; BLACKWELL, 2017). Com isso, o desempenho acadêmico dos alunos melhora e eles sentem-se mais engajados em aprender o conteúdo ensinado (VILA *et al.*, 2017).

A “gamificação” pode ser definida como a aplicação de técnicas de jogos em ambientes diversos e com diferentes finalidades. Na educação, ela é aplicada para melhorar o engajamento dos alunos e o envolvimento com o aprendizado por meio de um ambiente colaborativo e atrativo para o desenvolvimento das atividades educacionais. Nesses ambientes gamificados, os alunos recebem recompensas ao concluir desafios, prêmios pela realização de tarefas e *feedback* pelas ações tomadas durante os exercícios. Com isso, o processo de ensino-aprendizagem melhora, tendo em vista que os alunos se sentem mais à vontade para falhar, absorvendo o conhecimento de forma mais divertida (CAPONETTO; EARP; OTT, 2014; MARKOPOULOS *et al.*, 2015).

Entretanto, para professores, a gamificação não é uma tarefa simples de ser aplicada quando comparada com o plano de aula tradicional. É necessário que todos os aspectos da gamificação estejam bem-organizados e planejados para que alunos consigam concluir as tarefas, receber *feedbacks* e assim melhorar suas habilidades. Por isso, a gamificação é comumente aliada ao *e-learning* (CAPONETTO; EARP; OTT, 2014; MARKOPOULOS *et al.*, 2015; VILLAGRASA *et al.*, 2014).

O *e-learning* está presente no processo educacional em diversos níveis de ensino, nos treinamentos de empresas e em várias áreas da educação. Ele é definido como o processo de ensino-aprendizagem por meio dos dispositivos eletrônicos, como computadores e dispositivos móveis. Nessa ferramenta, os alunos se beneficiam com aumento da flexibilidade do ensino, facilidade no acesso ao conteúdo e maior autonomia para ajustar o ritmo de estudo. Devido à essa facilidade e a evolução da *web*, o uso do *e-learning* está desempenhando um papel cada vez mais importante nos ambientes educacionais (DEČMAN, 2015; LEWIS *et al.*, 2014; MARKOPOULOS *et al.*, 2015; TAN, 2013).

Dessa forma, os benefícios da E4 são evidenciados pela nova experiência de aprendizagem. Os alunos desenvolvem competências e habilidades por meio do envolvimento em projetos colaborativos e flexíveis, que melhoram a qualidade do ensino e aprendizado,

utilizando aplicativos e dispositivos eletrônicos. Entretanto, essa mudança traz desafios, principalmente, para os professores que se deparam com a falta de capacitação e de estruturas nas escolas e universidades para implementar as tecnologias educacionais (ALMEIDA; SIMOES, 2019; FLOGIE; LAKOTA; ABERŠEK, 2018; JEDAMAN *et al.*, 2019).

Os principais desafios da E4 correspondem às dificuldades e barreiras que estão impedindo seu desenvolvimento e implantação nas instituições de ensino de vários países. Nesta pesquisa, os principais desafios da E4 foram identificados nos artigos mais citados no tema (Apêndice A), e sistematizados conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Desafios para E4

| <b>Desafio</b>  | <b>Artigos</b>  |
|---|---|
| Falta de infraestrutura tecnológica em boas condições de uso e com suporte técnico                      | Asamoah (2021); Cao et al. (2020); Lim et al. (2020a); Nikolopoulou et al. (2019); Qasem et al. (2019); Southgate et al. (2019) |
| Ausência de legislação e mecanismos de proteção e privacidade de dados na utilização dessas informações | Fischer et al. (2020); Qasem et al. (2019)  |
| Resistência dos professores e dos gestores educacionais em adotar as tecnologias da I4 no ensino        | Qasem et al. (2019); Hämäläinen et al. (2021); Gil-Flores <i>et al.</i> (2017)  |

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O primeiro desafio destaca a falta de recursos tecnológicos adequados para a utilização das TICs pelos alunos e professores. As tecnologias da I4 necessitam da disponibilização de recursos e infraestrutura tecnológica adequados para seu funcionamento. Os dispositivos eletrônicos como computadores e tablets precisam estar em bom estado de funcionamento para serem utilizados pelos alunos e professores por meio de uma conexão de qualidade com Internet e com suporte técnico disponível para realização de manutenções e atualizações dos hardwares e softwares. Nos países mais pobres e em áreas remotas, algumas instituições de ensino não têm computadores e/ou conexão de Internet (ASAMOAH, 2021; BUASUWAN, 2018; NIKOLOPOULOU; AKRIOTOU; GIALAMAS, 2019; SOUTHGATE *et al.*, 2019).

O segundo desafio identificado resulta da criação e exploração dos dados por meio das tecnologias da I4. Há uma grande preocupação com a segurança das informações compartilhadas e principalmente com a privacidade na sua análise. Conflitos de ética estão em debate para identificar quem está acessando os dados como localização, rastreamento e desempenho dos alunos e professores e com que finalidade eles estão utilizados na E4. As

tecnologias utilizadas devem ser seguras de forma a garantir que os dados e as informações armazenadas de alunos, professores e funcionários das instituições de ensino não sejam acessadas e divulgadas por terceiros (FISCHER *et al.*, 2020; QASEM *et al.*, 2019).

O terceiro desafio ressalta que além da disponibilização de uma infraestrutura tecnológica adequada, o sucesso da integração das TICs ao ensino depende diretamente da sua aceitação pelos professores e gestores das instituições de ensino. Entretanto, muitos deles têm resistência à mudança e rejeitam o uso das tecnologias no processo de ensino-aprendizagem, impactando o desenvolvimento e a implantação da E4. Isso pode estar relacionado com a falta de treinamentos que os professores recebem durante e após sua formação. Na E4, os professores necessitam ter habilidades técnicas e pedagógicas para utilizar as TIC no ensino com autonomia (GIL-FLORES; RODRÍGUEZ-SANTERO; TORRES-GORDILLO, 2017; HÄMÄLÄINEN *et al.*, 2021; LIESA-ORÚS *et al.*, 2020).

Os professores possuem papel fundamental para impulsionar a transformação da educação e incentivar a utilização das tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. Contudo, suas habilidades e competências digitais devem ser desenvolvidas por meio de programas de formação de docentes, treinamentos e políticas públicas, para que eles possam utilizar essas ferramentas (BURNS; GOTTSCHALK, 2020). Nesse sentido, diversas estruturas estão sendo elaboradas, visando identificar as principais habilidades que devem ser desenvolvidas pelos professores.

Uma das principais estruturas propostas é da *European Framework for the Digital Competence of Educators* (DigComEdu), que visa auxiliar os professores na implementação e utilização das TIC no ensino. Ele abrange 22 competências divididas em 6 áreas essenciais: engajamento profissional, recursos digitais, ensino-aprendizagem, avaliação, capacitação dos alunos, facilitação da competência digital dos alunos (LUCAS *et al.*, 2021). O objetivo desse framework é permitir que os professores sejam capazes de selecionar e aplicar as tecnologias nos ambientes de ensino, engajando os alunos por meio do aprendizado personalizado e inclusivo (REDECKER, 2017).

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Nesta seção serão apresentadas as informações sobre a classificação da pesquisa, as etapas de execução, o instrumento de coleta de dados e o cronograma de pesquisa.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

As pesquisas científicas podem ser classificadas quanto à sua natureza, objetivos, abordagem e procedimentos (KOTHARI; GARG, 2019; MIGUEL et al., 2018). Na Figura 3 é apresentada a classificação deste trabalho segundo esses parâmetros.

Figura 3 – Classificação da pesquisa

| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Natureza</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Básica</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Aplicada</td> </tr> </tbody> </table>   | Natureza               |  | <input type="checkbox"/>            | Básica       | <input checked="" type="checkbox"/> | Aplicada    | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Procedimentos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Experimento</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Levantamento (Survey)</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Pesquisa bibliográfica</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Pesquisa Documental</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Estudo de Caso</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Pesquisa-ação</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Modelagem e Simulação</td> </tr> </tbody> </table> | Procedimentos |  | <input type="checkbox"/> | Experimento | <input checked="" type="checkbox"/> | Levantamento (Survey) | <input checked="" type="checkbox"/> | Pesquisa bibliográfica | <input type="checkbox"/> | Pesquisa Documental | <input type="checkbox"/> | Estudo de Caso | <input type="checkbox"/> | Pesquisa-ação | <input type="checkbox"/> | Modelagem e Simulação |
|---|------------------------|--|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------|---|---------------|--|--------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|
| Natureza  |                        |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Básica                 |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | Aplicada               |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| Procedimentos   |                        |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Experimento            |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | Levantamento (Survey)  |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | Pesquisa bibliográfica |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Pesquisa Documental    |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Estudo de Caso         |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Pesquisa-ação          |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Modelagem e Simulação  |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Objetivos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Exploratória</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Descritiva</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Explicativa</td> </tr> </tbody> </table> | Objetivos              |  | <input checked="" type="checkbox"/> | Exploratória | <input checked="" type="checkbox"/> | Descritiva  | <input type="checkbox"/>  | Explicativa   |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| Objetivos   |                        |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | Exploratória           |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | Descritiva             |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Explicativa            |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Abordagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Quantitativa</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Qualitativa</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Combinada</td> </tr> </tbody> </table>             | Abordagem              |  | <input type="checkbox"/>            | Quantitativa | <input type="checkbox"/>            | Qualitativa | <input checked="" type="checkbox"/>   | Combinada     |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| Abordagem   |                        |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Quantitativa           |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input type="checkbox"/>  | Qualitativa            |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | Combinada              |  |                                     |              |                                     |             |   |               |  |                          |             |                                     |                       |                                     |                        |                          |                     |                          |                |                          |               |                          |                       |

Fonte: Elaborado com base em Kothari e Garg (2019) e Miguel et al. (2018).

Quanto à sua natureza, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois se concentra na resolução de problemas da sociedade de forma prática (KOTHARI; GARG, 2019). Espera-se obter como resultado desta pesquisa um framework para o ensino de engenharia de produção por meio do mapeamento das necessidades de alunos e professores.

Quanto aos objetivos, ela pode ser classificada como exploratória, pois busca-se embasamento teórico para compreensão do tema, desenvolvendo amplo conhecimento sobre o assunto estudado (Educação 4.0). A pesquisa também pode ser classificada como descritiva,

pois aplica-se dois questionários em um grupo representativo a fim de investigar e analisar suas necessidades e relações (JUPP, 2006; KOTHARI; GARG, 2019).

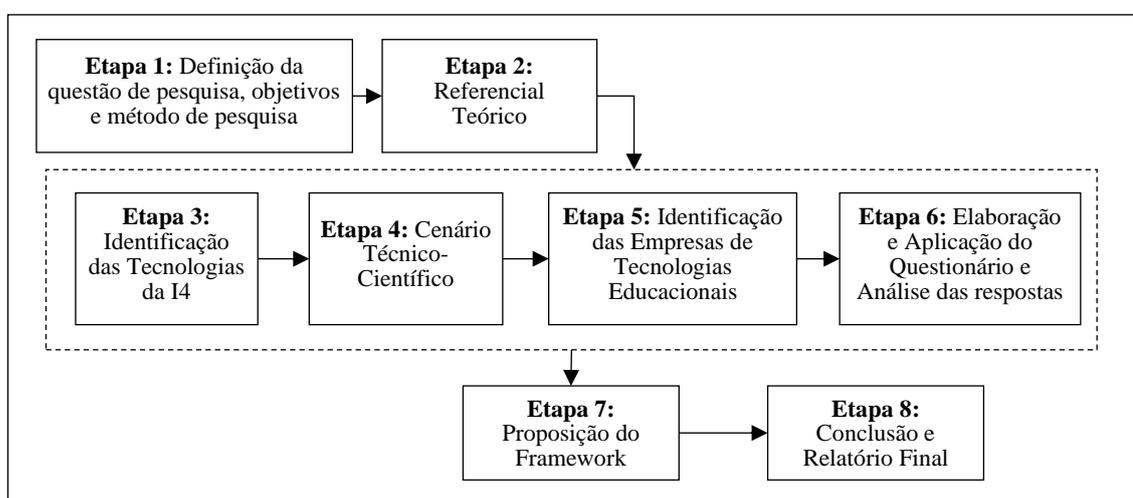
Quanto à sua abordagem, esta pesquisa pode ser classificada como combinada, pois os diferentes dados coletados serão analisados de forma qualitativa e também de forma quantitativa com auxílio de recursos e técnicas matemáticas/estatísticas (MIGUEL *et al.*, 2018).

Quanto aos procedimentos, esta pesquisa pode ser classificada como levantamento do tipo *Survey*, que consiste na utilização de questionário para coletar dados de uma amostra representativa (MIGUEL *et al.*, 2018). Nesta pesquisa, a amostra é representada por alunos e professores do curso de engenharia de produção. Dessa forma, as análises estatísticas serão utilizadas para identificar e mapear necessidades e oportunidades relacionadas as ferramentas tecnológicas no ensino pelas principais partes interessadas. Esse procedimento é adequado para uso em pesquisa descritiva onde se deseja conhecer opiniões. Dentre as suas vantagens, destacam-se a objetividade, economia e rapidez nas análises dos resultados (GROVES *et al.*, 2009; JUPP, 2006). Além disso, nesta pesquisa emprega-se o procedimento de revisão sistemática da literatura para identificar as principais aplicações e utilização das tecnologias da I4 no processo de ensino-aprendizagem por meio da literatura técnico-científica (JUPP, 2006).

### 3.2 FLUXO METODOLÓGICO

Para atingir os objetivos estabelecidos e encontrar respostas para a questão de pesquisa, é necessário planejamento adequado e estruturação eficaz de todas as etapas do desenvolvimento de pesquisa (MIGUEL *et al.*, 2018). Sendo assim, esta pesquisa foi desenvolvida conforme o fluxo da Figura 4.

Figura 4 – Fluxo metodológico para desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na Etapa 1, a questão de pesquisa a ser respondida, os objetivos e o método para condução deste trabalho foram definidos.

Na Etapa 2 foi criado o referencial teórico com base na revisão da literatura científica sobre a I4 e E4, por meio de artigos científicos atuais e relevantes no tema.

Na Etapa 3 foi realizada a identificação e caracterização das principais tecnologias da I4 por meio da análise de conteúdo da literatura científica. Essa etapa foi fundamental para o entendimento e compreensão do funcionamento dessas tecnologias e para a construção do cenário técnico-científico da E4. Cabe destacar que, os resultados desta etapa estão detalhados na subseção 4.1 deste trabalho.

Na Etapa 4 foi elaborado o cenário técnico-científico da E4 com base nos agentes da *Triple Helix* (indústria, governo e academia). Ele é composto por iniciativas empresariais, governamentais e acadêmicas, patentes, leis e artigos científicos relacionados a E4 e a utilização de tecnologias na educação com objetivo de melhorar a relação ensino-aprendizagem. Para isso, foi realizado uma revisão sistemática da literatura técnica-científica sobre o tema, que está detalhada na subseção 4.2 deste trabalho. Dessa forma, foram propostas políticas e iniciativas direcionados aos agentes da Triple Helix, visando o avanço e desenvolvimento da E4.

Na Etapa 5 foi realizada a identificação de empresas de tecnologias educacionais por meio da análise de conteúdo da literatura técnico-científica e relatórios empresariais. Essa etapa foi essencial para identificar as principais tecnologias educacionais disponíveis no mercado, suas inovações, aplicações e contribuições para melhoria da educação. Os resultados desta etapa estão detalhados em profundidade na seção 5 deste trabalho.

Na Etapa 6, os questionários foram elaborados para os professores e alunos do curso de engenharia de produção, conforme mostrado no Apêndice C. Essa etapa teve como objetivo identificar as demandas e oportunidades dos entrevistados quanto a utilização das tecnologias da I4 no ensino. O questionário foi enviado para as universidades selecionadas e suas respostas foram analisadas por meio de recursos e técnicas estatísticas, conforme apresentado na seção 6 desta pesquisa.

Na Etapa 7, o framework foi proposto com base nas informações coletadas e analisadas na Etapas 3, 4, 5 e 6. Ele foi elaborado de acordo com as demandas dos professores e alunos nos cursos de engenharia de produção e subsidiado pelas tecnologias da I4 mais adequadas e relevantes, que foram identificadas para melhorar a relação ensino-aprendizagem.

Na Etapa 8, a elaboração da conclusão desta pesquisa e o relatório final foram realizados. Nesta etapa, o cumprimento dos objetivos propostos, as principais contribuições científicas e aplicadas e, as limitações deste trabalho foram evidenciadas. Além disso, as sugestões para

trabalhos futuros foram recomendadas. Cabe destacar que o framework proposto nesta pesquisa servirá de subsídio para o desenvolvimento posterior de um *software*/aplicativo para os cursos de graduação em engenharia de produção.

### 3.3 QUESTIONÁRIO

O questionário é um tipo de instrumento de coleta de dados frequentemente utilizado pela academia e por organizações com objetivo de realizar pesquisas de levantamento do tipo *survey*. Esse instrumento viabiliza a coleta de dados e de informações de fonte primária (MIGUEL *et al.*, 2018). A partir das respostas coletadas em uma determinada amostra, análises são conduzidas por meio de ferramentas estatísticas, que permitem a realização de importantes inferências sobre o assunto investigado (GROVES *et al.*, 2009).

Há diversos benefícios que esse tipo de instrumento oferece, como por exemplo, a possibilidade de coletar dados de uma amostra significativamente grande por um custo relativamente baixo. Contudo, enfrenta-se como principal desafio, a confiabilidade das respostas obtidas (KOTHARI; GARG, 2019). Sendo assim, é necessário que o questionário seja bem planejado e cumpra todas as fases recomendadas para sua elaboração.

A primeira fase para construção do questionário consiste na elaboração de afirmações e/ou interrogações para os participantes. Após isso, é de suma importância que haja a validação do questionário antes dele ser enviado aos respondentes para identificação de falhas que possam ter ocorrido durante primeira fase. Então, é possível propor melhorias antes da coleta de dados. Com isso, a fase de coleta de dados da amostra pode ser iniciada. Posteriormente, a etapa de análise é executada para investigar os resultados da pesquisa. Por fim, deve-se realizar interpretações dos resultados e sugerir trabalhos futuros (JUPP, 2006; MIGUEL *et al.*, 2018).

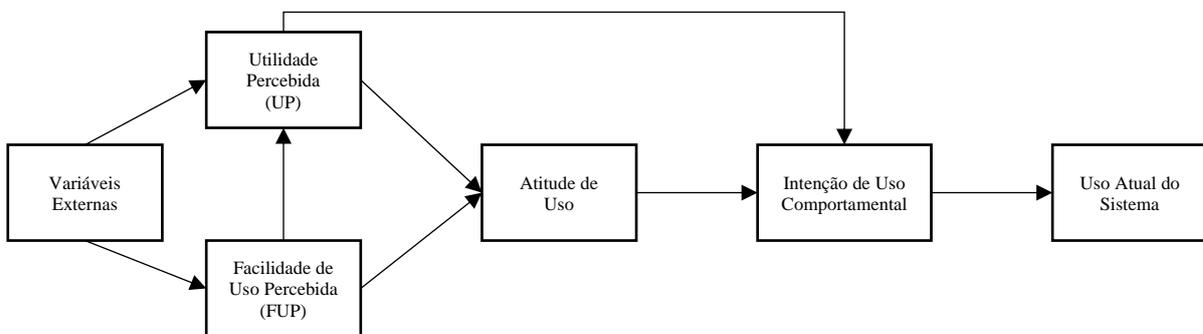
Cabe destacar que questionário é o instrumento de coleta de dados mais empregado pela academia nas pesquisas científicas que tem como objetivo identificar as atitudes e percepções de professores e alunos em relação a utilização de aplicativos educacionais (AL-EMRAN; MEZHUYEV; KAMALUDIN, 2018; CROMPTON; BURKE, 2018). Por meio dele, é possível coletar informações para mensurar a demanda por tecnologia educacional e analisar os fatores que impactam o seu uso pelas partes interessadas (CROMPTON; BURKE, 2018).

De acordo com Scherer *et al.* (2019), diversos modelos teóricos têm sido elaborados e ampliados por pesquisadores para explicar e analisar a aceitação e utilização de tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. Esses modelos permitem identificar quais fatores interferem na adoção de tecnologias educacionais e dessa forma, possibilitar a proposição de ferramentas

tecnológicas mais eficazes (SÁNCHEZ-PRIETO; OLMOS-MIGUELÁÑEZ; GARCÍA-PEÑALVO, 2017).

Nesse sentido, o modelo mais utilizado para analisar a aceitação e a intenção de uso das tecnologias educacionais é *Technology Acceptance Model* (TAM) (SCHERER; SIDDIQ; TONDEUR, 2019). A TAM foi proposta por Davis (1986), para analisar e avaliar os fatores de aceitação de um sistema tecnológico pelos seus possíveis usuários. Por meio desse modelo, é possível prever o sucesso ou insucesso na utilização de determinada tecnologia aplicada ao contexto da educação (ABDULLAH; WARD; AHMED, 2016). O modelo TAM está apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Modelo da Aceitação de Tecnologia



Fonte: Adaptado de Davis (1986).

Na TAM é proposto que as variáveis externas como treinamento, design do software, habilidades digitais etc., afetam as variáveis do modelo Utilidade Percebida (UP) e a Facilidade de Uso Percebida (FUP). Isso significa que se um indivíduo considerar fácil a utilização (FUP) de determinada tecnologia educacional, ele poderá adotar tal ferramenta. Contudo, é necessário que o indivíduo acredite também que a utilização da tecnologia será benéfica para seu desempenho acadêmico (UP) (SCHERER; SIDDIQ; TONDEUR, 2019). Dessa forma, a UP e FUP são fatores que precedem e afetam a Atitude (A) em usar a tecnologia analisada.

O modelo possui duas variáveis de resultado: Intenção de Uso Comportamental (IUC) e o Uso Atual do Sistema (UAS). A variável IUC tenta prever a utilização da tecnologia, ou seja, o que é esperado, enquanto, a variável UAS analisa o real uso da tecnologia (ABDULLAH; WARD; AHMED, 2016). Dessa forma, é possível elaborar um modelo específico e adaptado para o cenário o qual está sendo analisado e com isso, desenvolver aplicações com mais chances de serem bem-sucedidas (AL-ADWAN, 2020).

Sendo assim, nesta pesquisa, os questionários foram elaborados de forma estruturada com questões definidas, padronizadas e com base nos conceitos da TAM. Dois questionários foram desenvolvidos, o primeiro direcionado para os docentes e o segundo para os discentes de engenharia de produção. Eles estão divididos em oito blocos principais, desenvolvidos com base em artigos científicos relevantes sobre o tema, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Blocos do questionário

| Bloco   | Fontes   |
|---|--|
| <b>Perfil dos respondentes</b>  | Al-Emran, Elsherif e Shaalan (2016); Al-Rahmi et al. (2019); Cabero-Almenara, Fernández-Batanero e Barroso-Osuna (2019)  |
| <b>Percepção de utilidade em relação ao uso das tecnologias I4</b>      | Al-Rahmi et al. (2019); Cabero-Almenara, Fernández-Batanero e Barroso-Osuna (2019); Chatterjee e Bhattacharjee (2020); Shen et al. (2019); Shiau e Chau (2016) |
| <b>Facilidade de uso percebida em relação as tecnologias da I4</b>      | Al-Rahmi et al. (2019); Cabero-Almenara, Fernández-Batanero e Barroso-Osuna (2019); Chatterjee e Bhattacharjee (2020); Shen et al. (2019); Shiau e Chau (2016) |
| <b>Intenção de uso percebida em relação as tecnologias da I4</b>        | Al-Rahmi et al. (2019); Cabero-Almenara, Fernández-Batanero e Barroso-Osuna (2019); Cai et al. (2020a); Chatterjee e Bhattacharjee (2020); Shiau e Chau (2016) |
| <b>Satisfação em relação ao sistema de tecnologia educacional atual</b> | Akçayir et al. (2016); Alhalabi (2016); Almohammadi et al. (2017); Arpaci (2017); Mohammadi (2015)   |
| <b>Condições de infraestrutura e suporte tecnológico</b>                | Aliaño et al. (2019); Cao et al. (2020); Nikolopoulou, Gialamas e Lavidas (2020); Pombo, Carlos e Loureiro (2016); Raza et al. (2020)                          |
| <b>Resistência à mudança</b>  | Al-Adwan (2020); Qasem et al. (2019); Scherer, Siddiq e Teo (2015)   |
| <b>Desenvolvimento das habilidades digitais</b>                         | Al-Adwan (2020); Benešová e Tupa (2017); Ghavifekr e Rosdy (2015); Gupta, Goul e Dinter (2015); Valtonen et al. (2015)   |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O primeiro bloco do questionário contém perguntas sobre as características da amostra analisada, como idade, universidade, período cursado etc. O segundo bloco tem como objetivo identificar a percepção dos alunos e professores quanto ao uso das tecnologias da I4 no processo de ensino-aprendizagem. O terceiro bloco verifica a percepção dos professores e alunos em relação a facilidade em usar essas tecnologias. O quarto bloco analisa a intenção em usar essas tecnologias. O quinto bloco tem como objetivo medir a real satisfação em relação ao sistema de tecnologia atual que está sendo utilizado. O sexto bloco analisa o contexto da infraestrutura e suporte tecnológico nas universidades dos respondentes. O sétimo bloco investiga o nível de resistência à mudança por parte da amostra. Por fim, o oitavo bloco busca analisar o nível de habilidades digitais da amostra.

Os questionários estão estruturados conforme a escala *Likert* de concordância ou discordância das afirmativas. A escala escolhida possui cinco opções de resposta: discordo totalmente; discordo; neutro; concordo; e concordo totalmente. Esse tipo de escala é indicada

para coletar opiniões e atitudes, sendo que cada opção de resposta possui um valor associado de 1 a 5 (HARPE, 2015; JUPP, 2006; MAEDA, 2015).

Os questionários foram submetidos à apreciação de dois professores que utilizam tecnologias educacionais para lecionar em engenharia de produção e dois alunos do curso de engenharia de produção. Eles verificaram e validaram a adequação dos questionários em relação ao conteúdo proposto e sua relevância. Os questionários foram elaborados e disponibilizados por meio da ferramenta online e gratuita *Google Forms*. Eles são apresentados no Apêndice B (Questionário Professor) e Apêndice C (Questionário Aluno).

As universidades com suas respectivas populações selecionadas para responder os questionários são representadas por alunos e professores das universidades públicas e particulares, sendo elas: Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Guaratinguetá, Universidade de Taubaté (UNITAU), Universidade de São Paulo (USP) de Lorena, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) de Resende, Universidade Federal Fluminense (UFF) de Volta Redonda, e Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), pois são cidades com cursos de engenharia de produção. As universidades selecionadas em cada cidade e as suas respectivas vagas ofertadas anualmente são apresentadas no

Quadro 4.

Quadro 4 – Vagas disponíveis para engenharia de produção no ano de 2020

| <b>Cidade</b> | <b>Universidade</b> | <b>Vagas disponíveis anualmente</b> | <b>Fonte</b>             |
|---------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Volta Redonda | UFF                 | 80                                  | UFF (2020a), UFF (2020b) |
| Guaratinguetá | UNESP               | 30                                  | UNESP (2020)             |
| Lorena        | USP                 | 40                                  | EEL - USP (2020)         |
| Taubaté       | UNITAU              | 60                                  | UNITAU (2021)            |
| Itajubá       | UNIFEI              | 42                                  | MEC (2020)               |
| Resende       | UERJ                | 100                                 | FAT - UERJ (2021)        |
| <b>Total</b>  |                     | <b>352</b>                          |                          |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Dessa forma, o tamanho da população de alunos foi estimado com base na quantidade de vagas ofertadas pelas universidades, considerando o período de 5 anos para integralização do currículo. Além disso, as informações disponíveis no *site* do Inep (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira) e no site da Faculdade de Educação da USP (FE-

USP) sobre a taxa de desistência das universidades foram utilizadas para estimar o tamanho da população, conforme apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 – Taxa de Desistência de cada universidade selecionada

| Universidade | Taxa de Desistência Acumulada | Fonte       |
|--------------|-------------------------------|-------------|
| UFF          | 44%                           | INEP (2020) |
| UNESP        | 31%                           |             |
| UNITAU       | 55%                           |             |
| UNIFEI       | 14%                           |             |
| UERJ         | 47%                           |             |
| USP          | 17%                           | USP (2019)  |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Com exceção da USP, foi utilizado os valores da taxa de desistência acumulada no período de 2015 a 2019 para os cursos de engenharia de produção em cada localidade selecionada pelo *site* do Inep. São eles: 44% para a UFF; 31% para a UNESP; 55% para a UNITAU; 14% para a UNIFEI; e 47% para a UERJ (INEP, 2020). Para a USP, o valor de 17% corresponde a taxa de desistência acumulada para todos os cursos da universidade na cidade de Lorena entre 2000 e 2018.

Dessa forma, foi possível calcular o tamanho da amostra para realização desta pesquisa por meio da utilização da fórmula (1).

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p(1-p)}{(N-1)e^2 + Z^2 \cdot p(1-p)} \quad (1)$$

Onde:

N= Tamanho da população;

Z<sup>2</sup>= Nível de confiança;

e= Erro;

p= heterogeneidade.

A fórmula (1) fornece o número mínimo de elementos da amostra de alunos e professores, ou seja, a quantidade de respostas necessárias para que este trabalho seja significativo (RODRÍGUEZ DEL ÁGUILA; GONZÁLEZ-RAMÍREZ, 2014).

Nesse sentido, para o cálculo do tamanho da amostra de alunos, foi considerado uma população de alunos ( $N_a$ ) de 1074, um nível de confiança de 90% ( $Z=1,645$ ), uma margem de erro de 5% ( $e$ ) e uma heterogeneidade de 50% ( $p$ ). De acordo com a fórmula (1), o tamanho da amostra é de 216 alunos.

Para o tamanho da população de professores, foi considerado que cada professor possa lecionar duas áreas da engenharia de produção em sua universidade, de acordo com a classificação da ABEPRO. Sendo assim, estima-se que população total de professores seja igual a 30. Com isso, os mesmos valores para o nível de confiança, margem de erro e heterogeneidade considerados no cálculo da amostra de alunos foram novamente aplicados na fórmula (1). Dessa forma, o tamanho da amostra obtido é de 27 professores.

Os questionários foram enviados por e-mail aos alunos e professores. Vale ressaltar que os respondentes foram informados que sua participação é totalmente voluntária e suas respostas são confidenciais e, tratada em blocos com os demais respondentes durante todo processo de coleta e análise de dados. As respostas coletadas foram analisadas por meio recursos e técnicas de estatística descritiva que possibilita, de forma simples e objetiva, observar e explorar os resultados dos dados coletados (MISHRA *et al.*, 2019).

## 4 IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA I4 E CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DA E4

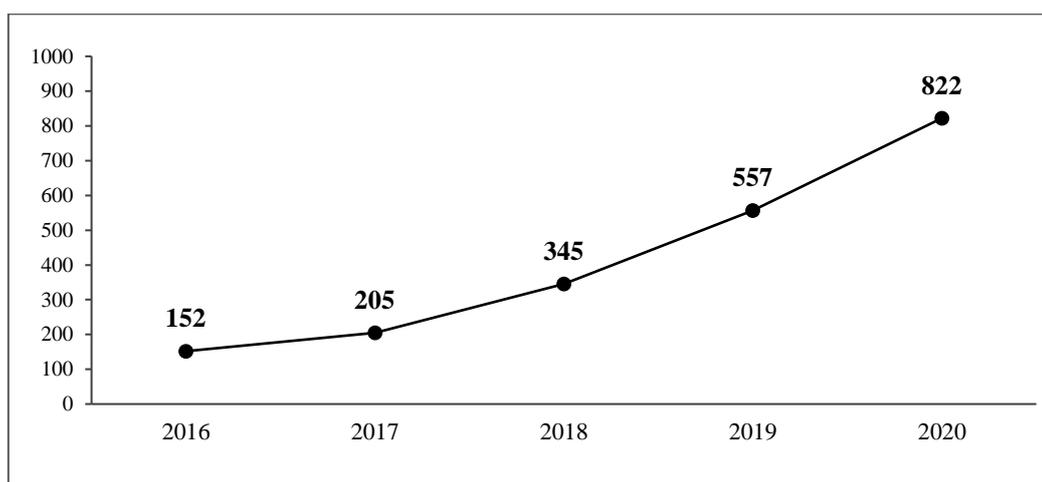
Nesta seção serão apresentadas as principais tecnologias da I4 identificadas na literatura científica e a construção do cenário técnico-científico da E4.

### 4.1 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DA I4

O objetivo desta seção é identificar os diferentes tipos de tecnologias da I4, revisar suas aplicações e compreender de que forma elas podem ser implementadas. Para isso, foi realizada uma pesquisa na base de dados científicos Scopus, buscando pelas palavras chaves “*Industr\* 4.0*” ou “*Fourth Revolution Industrial*”, no título de artigos científicos e revisões no período de 2016 a 2020.

Dessa forma, a pesquisa obteve como resultado 2081 trabalhos, dos quais foram selecionados os 30 primeiros para serem analisados, conforme o maior número de citações. Na Figura 6 está sendo apresentada a evolução do número de publicações científicas sobre a I4 durante o período selecionado.

Figura 6 – Evolução do número de publicações sobre a I4 ao longo dos anos



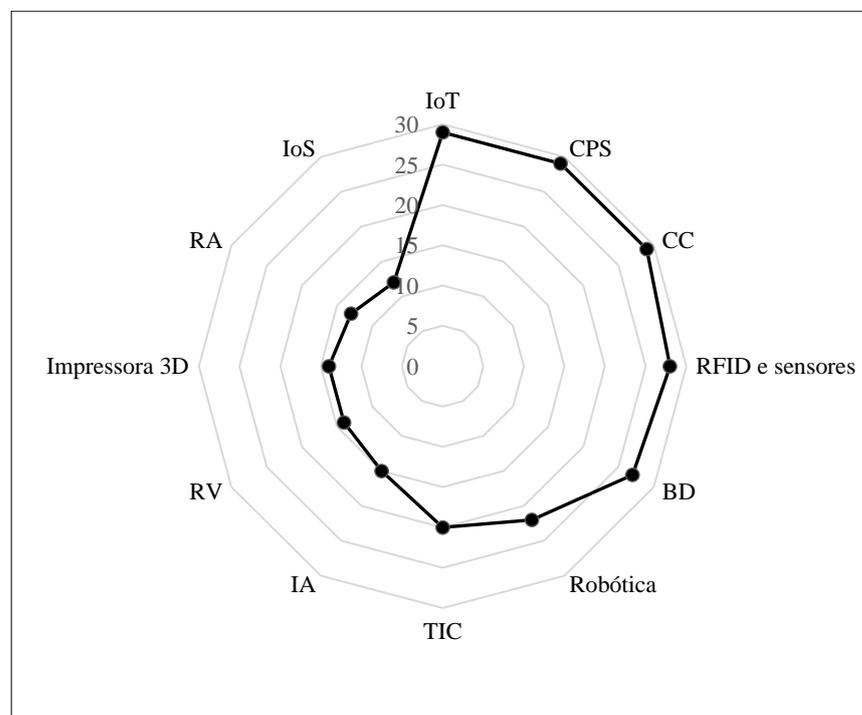
Fonte: Elaborado com base em Scopus (2021).

Conforme a Figura 6, é possível notar que a quantidade de publicações sobre o tema vem aumentando significativamente ao longo dos anos, indicando a importância e relevância da I4 no meio científico. Essa tendência crescente está relacionada com o desenvolvimento e avanço recente das tecnologias que viabilizam a implementação da I4 nas organizações e aos diversos

benefícios oferecidos por essa revolução industrial (LI, Xiaomin *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2016b).

Para mapear as tecnologias mais frequentemente relacionadas a I4 foi utilizado o método de análise de conteúdo nas publicações selecionadas. Esse método permite identificar, de forma clara e objetiva, categorias sobre um determinado tema pesquisado e quantificar o número de vezes que o elemento investigado é encontrado nos diversos tipos de documentos analisados (JUPP, 2006). Todas as tecnologias identificadas em cada artigo estão apresentadas no Apêndice C. Sendo assim, as principais tecnologias encontradas na literatura analisada e a sua frequência são mostradas na Figura 7 e discutidas em seguida.

Figura 7 – Principais tecnologias da I4



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A IoT é uma das tecnologias mais importantes da I4, sendo responsável pela comunicação entre homem, máquinas e produtos. Ela abrange outras tecnologias como etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification*), código de barras, dispositivos móveis e sensores para coletar informações sobre produtos, máquinas e pessoas e enviá-las via rede como Internet e Bluetooth aos bancos de dados. Posteriormente, esses dados podem ser utilizados no rastreamento, controle e monitoramento de processos. Entretanto, a IoT demanda alto nível de segurança de dados e conexão de qualidade nas organizações industriais para sua utilização (LU, Y., 2017; ZHENG *et al.*, 2018; ZHONG *et al.*, 2017).

O CPS refere-se à conectividade e comunicação fornecida por meio das tecnologias para integrar o mundo real com o virtual. Nessa tecnologia, as informações sobre a indústria retratam a sua realidade em tempo real e podem ser acessadas por outros dispositivos para transferência de informações, controle dos processos e apoio da tomada de decisão. Além disso, a implantação do CPS aumenta a transparência e o monitoramento de todo processo produtivo, resultando em melhoria de produtividade e eficiência (IVANOV; DOLGUI; SOKOLOV, 2019; ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

A CC refere-se à utilização do serviço de armazenamento e gerenciamento de dados de maneira virtual oferecida por uma empresa prestadora de serviços especializada na área. Essa tecnologia permite que diversos formatos de dados e documentos sejam armazenados em servidores e acessados a qualquer momento e em qualquer lugar por meio da Internet. Além disso, a utilização dessa tecnologia reduz os gastos com armazenamento de dados, visto que ele pode ser alterado com facilidade, de acordo com as necessidades das organizações. Contudo, a utilização dessa ferramenta enfrenta desafios relacionados à segurança no armazenamento e compartilhamento dos dados (MOEUF *et al.*, 2018; ZHONG *et al.*, 2017).

Os sensores avançados são elementos essenciais para viabilizar o funcionamento e a implantação da I4. Devido ao grande desenvolvimento tecnológico que essas tecnologias sofreram, os processos, produtos, serviços, pessoas e máquinas podem ser conectados para coletar e compartilhar suas informações. Essas tecnologias são aplicadas para automatizar processos, fornecer as informações e transmitir dados precisos entre os dispositivos em tempo real, aumentando a produtividade e flexibilidade das organizações (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019; LI, Xiaomin *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2016b). Contudo, a utilização de algumas dessas tecnologias demanda alto investimento inicial e elevado nível de segurança e privacidade de dados (CHEN, B. *et al.*, 2017; RATHEE *et al.*, 2020).

O BD é a tecnologia da I4 que permite o armazenamento e a análise de grande quantidade de dados, com objetivo de identificar correlações, padrões e outras informações úteis para aumentar a produtividade e competitividade de empresas. Essa tecnologia permite detectar falhas de forma antecipada, apoiar a melhoria contínua dos processos e fornecer informações para análises complexas. Entretanto, a aplicação dessa ferramenta requer algoritmos de mineração de dados eficazes, que sejam capazes de analisar o grande volume de dados e fornecer apenas as informações mais importantes e relevantes para a tomada de decisão (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019; QI; TAO, 2018).

Embora a robótica seja abordada e relacionada com terceira revolução industrial, ela continua sendo essencial para as organizações na I4 (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Os robôs da I4 são mais tecnológicos e se diferem da revolução anterior em relação ao seu nível de automação e inteligência. A robótica utilizada na I4 integra outras tecnologias como IA, sensores e CC para flexibilizar a produção, prevenir e corrigir erros relacionados ao processo produtivo (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018). A utilização desses robôs em colaboração com o homem possibilita diversos benefícios, tais como, redução de custos do processo de fabricação e de falhas, desenvolvimento de manufaturas enxutas e melhoria de produtividade (GHOBAKHLOO, 2018; ROJKO, 2017; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

As TIC são ferramentas também desenvolvidas na terceira revolução industrial e que passaram por transformações e avanços tecnológicos essenciais para viabilizar a I4 e o desenvolvimento de outras tecnologias (DALENOGARE *et al.*, 2018; ROJKO, 2017). As TIC englobam os conceitos de tecnologia de informações, elementos e componentes para transferência de informação por meio dos dispositivos eletrônicos, rede sem fio e tecnologia para web. Elas possibilitam que outras tecnologias funcionem de maneira integrada e inteligente. Por meio dela, é possível navegar na rede e viabilizar a comunicação rápida e flexível das máquinas, processos e produtos (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019; WOLLSCHLAEGER; SAUTER; JASPERNEITE, 2017).

A IA é uma tecnologia que está sendo relacionada ao conceito da I4 e amplamente aplicada na previsão e análise de dados e no apoio ao processo de tomada de decisão em áreas da indústria, educação e saúde. Nos processos produtivos, ela pode ser utilizada para melhorar a manutenção preventiva, de forma a prever falhas de máquinas, diminuir problemas de qualidade dos produtos, reduzir custos de produção e retrabalhos (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019). Por meio dela, é possível realizar a mineração de dados com base em informações históricas, permitindo criar sistemas inteligentes e autônomos, fornecendo produtos/serviços personalizados (QI; TAO, 2018; ZHONG *et al.*, 2017).

A RV é a tecnologia que possibilita a imersão e interação com elementos virtuais em ambientes virtuais. Por meio dela, a comunicação entre homem-máquina pode ser melhorada, tornando-a mais interativa (CIPRESSO *et al.*, 2018). Entretanto, essa tecnologia necessita de recursos potentes para realizar o processamento de imagens e funcionamento adequado que nem sempre são fáceis de obter e possuem alto custo de implementação (BASTUG *et al.*, 2017; CHATZOPOULOS *et al.*, 2017).

A utilização de impressoras 3D refere-se à fabricação aditiva, que permite produzir produtos personalizados. A impressora 3D utiliza modelos digitais para fabricação de novos produtos em pequena escala, de forma rápida, com baixo custo e de acordo com as demandas

dos clientes (LI, L., 2018; OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Dentre os benefícios da impressora 3D, destaca-se a redução de custos de processos, diminuição dos prazos de entrega, melhoria da competitividade da organização e aumento de inovação (GHOBAKHLOO, 2018; IVANOV; DOLGUI; SOKOLOV, 2019). Contudo, a fabricação de aditivos necessita ainda ser melhorada para produzir produtos de melhor qualidade (ROJKO, 2017).

A RA é utilizada para incorporar elementos desenvolvidos de forma virtual no mundo real. Esses elementos são podem ser acionados por meio das câmeras e visualizados nas telas de dispositivos móveis (FRAGA-LAMAS *et al.*, 2018). Nos ambientes organizacionais, ela pode ser empregada para melhoria da qualidade, realização de manutenções em máquinas e nos treinamentos de funcionários em procedimentos operacionais (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019; PALMARINI *et al.*, 2018).

*Internet of Services* (IoS) refere-se ao desenvolvimento e oferta de serviços por meio da criação de uma infraestrutura tecnológica baseada na *web*. A IoS tem como objetivo aumentar o valor agregado de produtos ou serviços por meio da incorporação de tecnologias e da criação de uma rede entre as empresas e os clientes para oferecer serviços (HOFMANN; RÜSCH, 2017; PEREIRA; ROMERO, 2017). Os serviços prestados são oferecidos continuamente com base em informações coletadas por meio de sensores ou outros dispositivos eletrônicos, com objetivo de monitorá-las para melhorar a satisfação do cliente (CHEN, B. *et al.*, 2017; GHOBAKHLOO, 2018; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

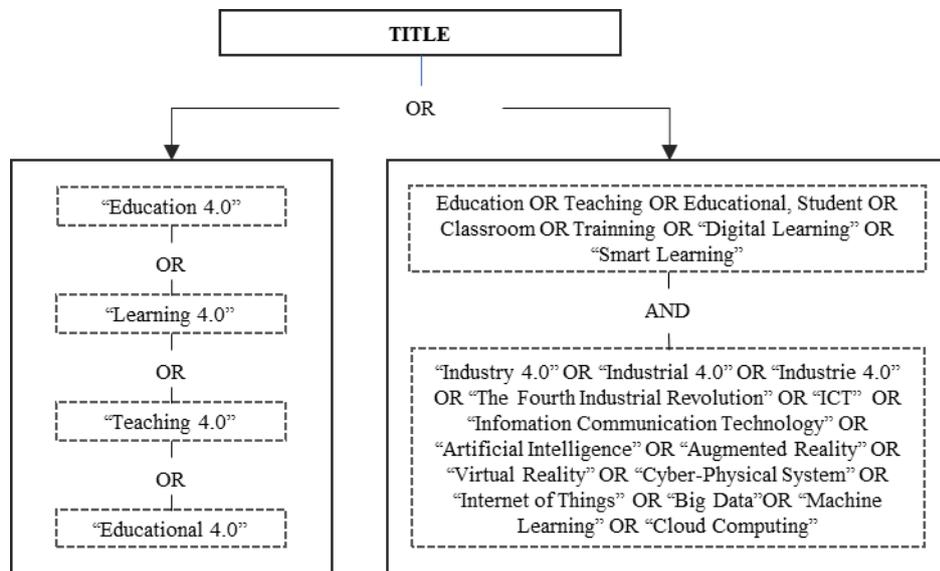
## 4.2 CENÁRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DA E4

Esta subseção tem como objetivo identificar de que forma as tecnologias da I4 estão sendo propostas e utilizadas para melhorar o processo ensino-aprendizagem. Para isso, foi realizada a revisão sistemática da literatura técnica-científica no tema. A revisão foi conduzida por meio da análise de conteúdo nas principais publicações técnicas e científicas sobre a E4. Entre as publicações analisadas destacam-se iniciativas empresariais, patentes, textos de leis, políticas, relatórios empresariais e governamentais, e artigos científicos.

Os dados técnicos foram buscados por meio da plataforma *Orbit Intelligence*, visto que ela engloba os maiores repositórios de patentes depositadas por empresas e universidades ao redor do mundo (VINCENT *et al.*, 2017). As patentes estudadas foram pesquisadas por título e objeto de invenção entre 2010 e 2020 para representar os avanços e as inovações do tema. Os dados científicos foram buscados por título de artigos publicados em inglês na base Scopus durante o período de 2015 a 2020.

Em ambas as buscas foram utilizados dois conjuntos de palavras-chave para englobar estudos sobre a E4 e a utilização de tecnologias da I4 para melhorar o processo de ensino-aprendizagem, conforme explicitado na Figura 8. O primeiro conjunto foi composto pela palavra “*Education 4.0*” e seus sinônimos (“*Learning 4.0*”, “*Teaching 4.0*” e “*Educational 4.0*”). O segundo conjunto foi composto por palavras relacionadas a I4 e suas tecnologias identificadas na seção anterior (“*Industry 4.0*”, “*ICT*”, “*Big Data*” etc.) combinadas com palavras relacionadas ao ensino (“*Education*”, “*Teaching*”, “*Educational*” etc.).

Figura 8 – Palavras-chave utilizadas na pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As informações de 4273 patentes e de 1973 artigos científicos satisfizeram os critérios de pesquisa e foram coletadas. Os dados foram organizados e os principais países no cenário técnico-científico da E4 foram identificados com base na relação entre dois critérios: índice H x número de patentes registradas.

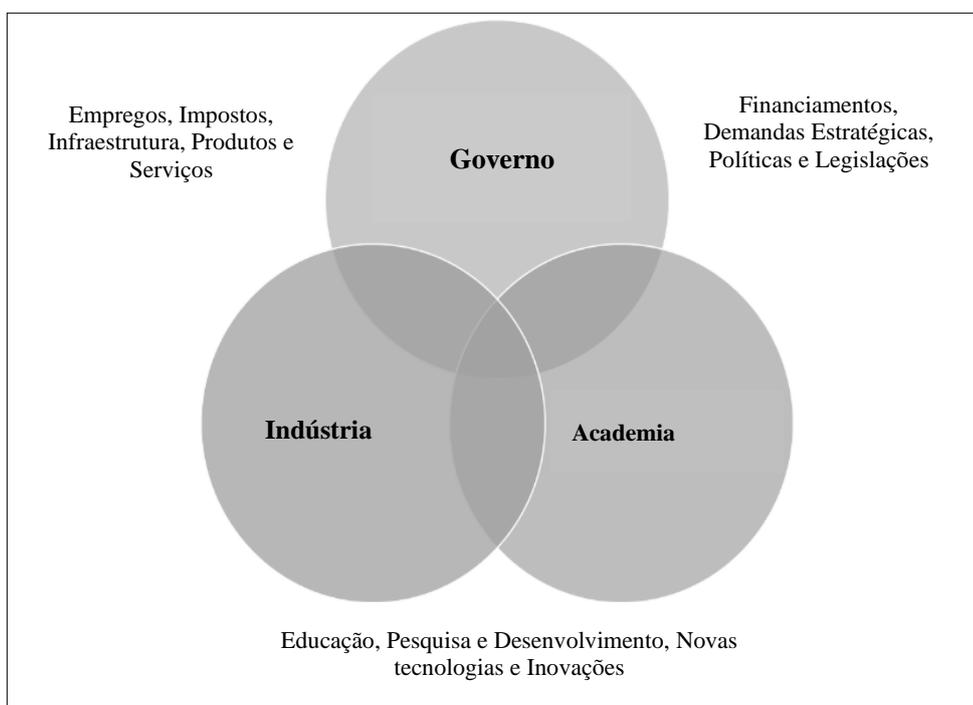
Inicialmente, os 10 países com maior número de patentes registradas foram selecionados e ranqueados, indicando para o cenário técnico do tema, aqueles com importantes equipes de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e inovações sobre E4. Em seguida, os 10 países com maior índice h no tema estudado foram ranqueados a partir dos dados coletados. Esse índice quantifica a produtividade e a relevância dos estudos publicados e, portanto, é um bom indicador da capacidade de produção científica (número de publicações) e importância (citações) dos trabalhos publicados nesses países (NUNHES *et al.*, 2021).

Assim, as médias das posições dos países que estavam presentes em ambos os rankings foram calculadas. Os países foram dispostos em ordem crescente segundo a média calculada, resultando no ranking final dos países de destaque tanto no cenário técnico quanto no científico. Os quatro primeiros países desse ranking (Estados Unidos, China, Taiwan e Coréia do Sul) abrangem juntos mais de 80% da quantidade de patentes retornadas da pesquisa, indicando significativas inovações sobre o tema. Por isso, eles foram selecionados para a análise qualitativa das suas principais iniciativas industriais, governamentais e acadêmicas.

Dessa forma, o cenário técnico-científico foi mapeado na área da E4 composto pelas políticas, iniciativas e inovações dos quatro países que mais se destacaram tanto no desenvolvimento de tecnologias na área, quanto na publicação de estudos no tema e estão contribuindo com o desenvolvimento da E4.

A construção do cenário técnico-científico tem como objetivo contribuir com o desenvolvimento da E4 e o enfrentamento dos desafios da I4. Esses desafios são complexos e devem ser enfrentados colaborativamente pelos principais agentes da sociedade (indústria, governo e academia) representados pela *Triple Helix* e ilustrado na Figura 9 (DANIEL, 2015; GHAVIFEKR; ROSDY, 2015; KIMATU, 2015).

Figura 9 – Modelo da *Triple Helix*



Fonte: Adaptado de Kimatu (2015).

O modelo da *Triple Helix* propõe a interação contínua entre os agentes que o compõe para acompanhar as evoluções das tecnologias e responder aos desafios globais da sociedade (Galan-Muros and Davey, 2019). O resultado dessas interações são provenientes de diversos fatores que influenciam a forma como os indivíduos utilizam e interagem com as tecnologias na prática, ocasionando o surgimento de novas estruturas e tecnologias mais avançadas (ORLIKOWSKI, 2000). Para apoiar todas essas transformações, políticas e inovações devem ser frequentemente propostas para os atores da sociedade (HUSSENOT, 2008). Dessa forma, os agentes da Triple Helix contribuem de forma proativa para o desenvolvimento socioeconômico por meio da criação de políticas e parcerias, formação de profissionais, pesquisa e desenvolvimento, inovações e infraestrutura tecnológica (GACHIE, 2020; RAZORENOV; VODENKO, 2020).

O agente indústria é responsável por fornecer produtos e serviços inovadores para a área da educação e demanda cada vez mais profissionais melhores qualificados nas tecnologias da I4, o que pode ser desenvolvido por meio da E4 (Benešová and Tupa, 2017; Kimatu, 2015). O governo por sua vez, deve criar e propor políticas que regulam as interações dos setores da sociedade, incentivando e financiando o aperfeiçoamento dos métodos de ensino, aumentando o nível de escolaridade da sua população e melhorando a capacitação dos professores (Lim et al., 2020). Já a academia cabe formar seus alunos para lidar com as novas demandas tecnológicas da I4 e desenvolver produtos e inovações a partir de pesquisas científicas para superar os desafios da I4 na sociedade e indústria (MIAN *et al.*, 2020).

Dessa forma, os países selecionados para o cenário técnico-científico foram Estados Unidos, China, Taiwan e Coreia do Sul, conforme mostrado na Tabela 1. Esses países possuem maior índice h e são os que mais depositaram patentes sobre o tema no período estudado de acordo com as bases Scopus e Orbit Intelligence respectivamente. Suas principais iniciativas organizacionais, governamentais e acadêmicas que serão analisadas e apresentadas nas próximas subseções.

Tabela 1 – Países de destaque na E4

| N. | Países         | H – Índice | Patentes |
|----|----------------|------------|----------|
| 1  | Estados Unidos | 22         | 260      |
| 2  | China          | 12         | 3360     |
| 3  | Taiwan         | 15         | 18       |
| 4  | Coreia do Sul  | 9          | 493      |

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

## 4.2.1 Estados Unidos

Estados Unidos é o terceiro país em relação ao número de patentes depositadas (260) e tem o maior índice h no tema (22). O governo americano investe no desenvolvimento e na aplicação de novas práticas e ferramentas de ensino no seu sistema educacional desde a década de 1990. Portanto, o país está na vanguarda da E4 e abriga empresas e universidades de destaque no desenvolvimento de tecnologias e pesquisas na área.

### 4.2.1.1 Indústria

As empresas que mais possuem patentes publicadas são: *Samsung Eletronics* (47), *Lincoln Electric Global* (24) e IBM (8). Elas se destacam por desenvolver e aplicar tecnologias da I4 nas salas de aulas e na capacitação corporativa.

A *Samsung* desenvolve tecnologias educacionais como dispositivos móveis, plataformas de *e-learning*, *Flipchart* digital e projetos em parceria com escolas e universidades para suportar e aprimorar o aprendizado digital (SAMSUNG, 2013). Em uma das suas parcerias de sucesso com *College of Business da Colorado State University (CSU)*, a Samsung criou uma estrutura de televisores para reinventar o ensino à distância, de modo que os alunos remotos possam ser visualizados e consigam interagir com os alunos e professores presenciais em tempo real. Desta maneira, o projeto aumenta o engajamento e a colaboração entre os estudantes, visando melhorar o aprendizado e ampliar a capacidade das instituições de ensino em formar novos profissionais para o mercado de trabalho (CSU, 2019; HAYNES, 2019).

A *Lincoln Electric Global* é uma empresa que fabrica produtos de soldagem e oferece treinamentos a empresas e novos soldadores em seu instituto de educação (LINCOLN, 2017). Dentre os produtos e serviços comercializados pela empresa, destaca-se a ferramenta robótica de treinamento e de simulação com a RV. A tecnologia de simulação permite um ambiente de ensino móvel e seguro para a prática de soldagem. A ferramenta fornece em tempo real um relatório com dados de análise da atividade com feedback, suportando professores e alunos no processo ensino-aprendizagem (LINCOLN ELECTRIC, 2018).

A *IBM* é uma empresa de tecnologia de informação que desenvolve e comercializa produtos e serviços tais como CC, IA, e *Machine Learning*. A empresa criou a P-TECH em parceria com escolas e outras indústrias para proporcionar ensino gratuito e estágio nas áreas de STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) para pessoas carentes (IBM, 2020). P-TECH também possui uma plataforma de ensino online com cursos e certificações gratuitas

para o desenvolvimento de habilidades técnicas sobre tecnologias como *Blockchain*, *Data Science* e IA (P-TECH, 2020).

#### 4.2.1.2 Governo

Na esfera governamental, a lei *Every Student Succeeds Act* visa garantir que todo aluno formado tenha acesso aprendizado digital e para isto, destina recursos financeiros a projetos que promovam e implementem o aprendizado híbrido e digital (U.S. DEPARTMENT OF EDUCATION, 2019). A *Nation Science Foundation* (NSF) também é uma importante fonte de financiamento de pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias educacionais (NSF, 2020a). A NSF financia projetos de ciências e engenharia como o “*Smart Advanced Manufacturing Education in the Silicon Valley*” que propõe desenvolver um programa com novos cursos para preencher as demandas de profissionais bem qualificados da I4, concentrando-se em áreas como IoT, Prototipagem e Automação (NSF, 2020b).

#### 4.2.1.3 Academia

As principais iniciativas acadêmicas do país foram analisadas com base nos autores e universidades de destaque no tema. David F. Cihak, Don D. McMahon, Nassir Navab, Timothy Green e Abbie Brown adotaram e estudaram as tecnologias emergentes de forma inovadora no ensino

Os autores David F. Cihak e Don D. McMahon contribuíram com estudos de melhoria do ensino com as tecnologias emergentes como dispositivos móveis, RA e RV em escolas e cursos de capacitação para pessoas com deficiências (UNIVERSITY OF TENNESSEE, 2012; WASHINGTON STATE UNIVERSITY, 2020). Essas tecnologias são empregadas para ensinar ciência, incentivar a prática de exercícios físicos e apoiar o desenvolvimento de habilidades profissionais dos alunos para ingressar no mercado de trabalho (WASHINGTON STATE UNIVERSITY, 2016). As tecnologias de RA e RV, robótica e *machine learning* também são utilizadas por Nassir Navab e seu time de pesquisa denominado *Computer Aided Medical Procedures* (CAMP). O CAMP alia medicina, engenharia e fornecedores de soluções médicas para desenvolver mecanismos de RA no ensino de anatomia e auxiliar médicos em cirurgias de forma mais precisa (CAMP, 2014). Tim Green e Abbie Brown contribuíram identificando quais os melhores softwares de dispositivos móveis podem ser usados para a implementação da RA nas salas de aulas. Dentre eles, o software *Aurasma* destacou-se pelas suas funcionalidades e

foi aplicado no ensino de história e geografia no ensino básico para aumentar o engajamento dos alunos no processo ensino-aprendizagem (GREEN; GREEN; BROWN, 2017).

As universidades americanas *University of Illinois at Urbana-Champaign* (UIUC), *University of Arizona* (UA) e *NC State University* (NCSU) se destacaram por serem as que mais publicaram estudos sobre E4 e por aplicarem e desenvolverem técnicas e ferramentas inovadoras de ensino.

A UIUC desenvolveu estudos sobre a aplicação de técnicas de big data, ciência de dados e *machine learning* na avaliação da aprendizagem em ambientes de ensino digital e na predição de comportamentos dos alunos (COPE; KALANTZIS, 2015; PAQUETTE; BAKER, 2019). Essas técnicas permitem a análise dos resultados de novas tecnologias de forma rápida, precisa e segura. Na UIUC também foram desenvolvidos estudos sobre o uso responsável da BD no ensino de artes (DUNCUM, 2018) e o uso da RV e simulação no ensino de arqueologia (SHACKELFORD *et al.*, 2019). O uso da RV favoreceu a aprendizagem cognitiva dos alunos, por permitir a interação com o ambiente estudado, o que tornou o ensino mais dinâmico e prático.

A UA desenvolveu estudos sobre o uso da RV e BD no ensino de medicina e de línguas estrangeiras (ISERSON, 2018). A RV se mostrou uma importante aliada no ensino e aprendizagem de cirurgias lateral e procedimentos de testes clínicos ao simular ambientes 3D onde os alunos poderiam praticar a realização dessas atividades (BARBER *et al.*, 2020). Também foram conduzidos estudos sobre a aplicação de IA no ensino de braille para deficientes visuais, em que os alunos melhoraram sua performance de aprendizagem (MCCARTHY *et al.*, 2016); e novas TIC no ensino de alfabetização (SCHNEIDER *et al.*, 2015).

A NCSU estudou a aplicação da RA no ensino de topografia, engenharia e medicina veterinária. O uso dessa tecnologia ajudou os alunos na compreensão tridimensional de tópicos como estudos de mapas topográficos e neuroanatomia canina, provando o potencial multidisciplinar da sua aplicação. O engajamento e a performance estudantil dos alunos que utilizaram essa tecnologia aumentaram consideravelmente (AKBULUT; CATAL; YILDIZ, 2018; CHRIST *et al.*, 2018; MCNEAL *et al.*, 2020; SOLTIS *et al.*, 2020). Os estudos da NCSU também identificaram que as tecnologias de RV, aprendizagem por dispositivo móvel, aprendizado interativo e *e-learning* são as mais utilizadas na área de RA para educação (KARAKUS; ERSOZLU; CLARK, 2019).

## 4.2.2 China

A China é o país com o maior número de patentes registradas (3068) e é o terceiro país na classificação do índice h (12) no tema. O país se destacou pelas tecnologias desenvolvidas e patenteadas por suas empresas, por políticas nacionais de modernização de seu sistema de ensino e pela publicação de importantes estudos científicos na área de E4.

### 4.2.2.1 Indústria

As principais iniciativas técnicas do país foram analisadas com base nas empresas que mais depositaram patentes. São elas: *Shangai Yixue Education* (18), *Gansu Pugongying* (18) e *State Grid Corporation of China* (16).

A *Shangai Yixue Education* é a primeira empresa especializada em aprendizagem adaptativa com IA na China (SQUIRREL AI LEARNING, 2017). A empresa fornece educação personalizada, mesclando ensino presencial e online com as tecnologias emergentes da I4. Seu sistema de IA simula professores e fornece plano de ensino personalizado com base em algoritmo inteligente para capturar e minerar dados da aprendizagem dos alunos em tempo real e identificar com precisão suas dificuldades, definindo suas prioridades em disciplinas de baixo desempenho (SQUIRREL AI LEARNING, 2020).

A *Gansu Pugongying Information Technology* é uma empresa desenvolvedora de tecnologias e busca o aprimoramento de hardwares para viabilizar os avanços de softwares no ensino. Suas invenções contribuem com o aumento da eficiência e vida útil dos equipamentos que empregam as tecnologias de ensino online com inteligência artificial (XUECHENG, 2019).

A *State Grid Corporation of China* é uma empresa de transmissão e distribuição de energia elétrica que desenvolve sistemas de simulação, utilizando tecnologias como RA, VR, drones e softwares de imagens 3D para o treinamento de seus profissionais nos equipamentos de alta energia. Seus sistemas são soluções seguras e econômicas para práticas de ensino que são difíceis de implementar e reproduzir (SHENGLI *et al.*, 2019; STATE GRID CORPORATION, 2017; YAN *et al.*, 2016).

### 4.2.2.2 Governo

Para impulsionar o ensino em todos os níveis, o governo chinês lançou o plano “Modernização da Educação China - 2035” a longo prazo e o “Plano de Implementação para

Acelerar a Promoção da Modernização da Educação (2018-2022)” a curto prazo. O governo chinês ressalta a importância da integração de sistemas de ensino com as tecnologias da informação, utilizando ferramentas como IA, BD, simulações e RA para aperfeiçoar e inovar no ensino-aprendizagem e no treinamento novos profissionais. O governo prevê também um aumento anual no orçamento para financiamento de projetos de modernização da educação e a promoção de intercâmbios de pesquisas no exterior, incentivando a colaboração internacional entre universidades para criação de centros de pesquisas em tecnologias da I4 e campus inteligentes (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2020; SHUO, 2019)

#### 4.2.2.3 Academia

As principais iniciativas acadêmicas do país foram analisadas com base nos autores e universidades de destaque no tema. Os autores Cher Ping Lim, Di Wu e Danhui Zhang tem pesquisado sobre a utilização das tecnologias da informação e comunicação e seus benefícios para o ensino.

Cher Ping Lim tem investigado e analisado o uso de jogos virtuais e TIC para melhoria do ensino e da formação de novos professores. Suas pesquisas utilizam estudos de casos em universidades e escolas de países asiáticos que integraram as TIC ao ensino para identificar seus desafios e propor estratégias inovadoras para atualizações nas grades curriculares (LIM, C. P. *et al.*, 2020b; LIM, C. P.; YAN; XIONG, 2015). Di Wu tem realizado pesquisas para investigar os efeitos da integração das TIC, plataformas online e CC ao ensino e avaliar os benefícios e desafios de sua aplicação nas áreas rurais e urbanas (SHI *et al.*, 2014; WU, D. *et al.*, 2019). Danhui Zhang constatou uma relação positiva entre o uso das TIC no ensino e desempenho dos alunos em disciplinas como matemática, ciências e leitura ao investigar os resultados dos exames internacionais como o PISA (*Programme for International Student Assessment*) e PIRLS (*Progress in International Reading Literacy Study*) (SKRYABIN *et al.*, 2015; ZHANG, D.; LIU, 2016).

As universidades chinesas Beijing Normal University (BNU), East China Normal University (ECNU) e University of Science and Technology Liaoning (USTL) se destacaram por serem as que mais publicaram estudos sobre E4. Suas principais contribuições na área estão descritas a seguir.

A BNU conduziu estudos sobre o impacto do uso de TIC no ensino de leitura, matemática e ciências na China. Os estudos mostraram uma correlação positiva no uso dessas tecnologias com a performance de aprendizagem dos alunos (LI, S. *et al.*, 2020; SKRYABIN *et al.*, 2015;

ZHANG, D.; LIU, 2016). A universidade também desenvolveu um modelo de *e-learning* baseado em computação em nuvem elástica. Essa tecnologia permite a construção de arquiteturas computacionais para o ensino a distância com menor investimento em infraestrutura, o que facilita a implementação dessas iniciativas (ZHANG, W.; ZHU, 2017). A universidade também estudou o uso de RV na educação de alunos com autismo (HU; HAN, 2019) e no ensino de habilidades de resolução de problemas a alunos do ensino fundamental (WU, J. *et al.*, 2019). Essa tecnologia possibilita maior imersão e interação no processo de aprendizagem, mostrando-se útil na educação especial. Os estudos da BNU também identificaram um aumento nos ganhos de aprendizagem dos alunos a partir do uso de tecnologias de RA no ensino de conceitos abstratos da estatística, probabilidade e matemática (CAI *et al.*, 2020b, 2020a).

Os estudos da ECNU sobre a aplicação de RV em ambientes de aprendizagem presencial identificaram um aumento no senso de presença dos alunos e a relevância do processamento visual no aprendizado de crianças, revelando a importância do uso de novas tecnologias virtuais nos currículos e materiais de ensino para estes alunos (HUANG, C. L. *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020). Como forma de melhor instruir os graduandos de pedagogia sobre essas tecnologias a ECNU desenvolveu para seu curso de pedagogia a matéria “*Modern Education Technology*”, no qual são abordadas as principais habilidades e competências necessárias para a utilização de TICs no ensino-aprendizagem (LIM, C. P.; YAN; XIONG, 2015).

A USTL estudou a implementação da sala de aula invertida e *micro-lecture* no ensino de RV. Essas abordagens pedagógicas permitiram que os professores compreendessem as dificuldades que seus alunos enfrentavam durante o processo de aprendizagem e quais eram os seus diferentes hábitos e comportamentos de estudo. Tais conhecimentos permitiram a adaptação dos estilos de ensino dos professores de acordo com as necessidades de seus alunos, o que incentivou o engajamento durante as aulas e melhorou a performance de aprendizagem (JI; HAN, 2019). A universidade também conduziu estudos sobre o uso da RV no ensino de design gráfico e *folk art*. Essa tecnologia estimulou o entusiasmo, a criatividade, a motivação e a sensibilidade dos alunos durante as aulas ao simular atividades de pintura (LI, H., 2017). A universidade também aplicou a CC no ensino de dança ao oferecer um sistema multimídia com vídeos e imagens durante as aulas (LI, Xiang, 2016).

### 4.2.3 Taiwan e Coreia do Sul

Taiwan possui grande destaque no cenário científico com o terceiro maior índice h no tema (15), porém, é o oitavo país em relação ao número de patentes depositadas (18). Por outro lado, a Coreia do Sul tem grande destaque no cenário técnico e é o segundo país com a maior quantidade de patentes depositadas (493), mas apresenta uma menor proeminência no cenário científico e está na décima posição do ranking segundo o índice h no tema (9). Dessa forma, as iniciativas de ambos os países serão exploradas em conjunto.

#### 4.2.3.1 Indústria

As principais iniciativas técnicas dos países foram analisadas com base nas empresas que mais depositaram patentes. Em Taiwan destaca-se a *Dianshi Jingwei Technology* (1) e na Coreia do Sul a *Samsung Electronics* (88), *Total Soft Bank* (5).

A empresa *Dianshi Jingwei Technology* desenvolveu um ambiente de ensino inteligente e personalizado baseado em IA, BD e CC em sua linha de softwares e hardwares denominada *OKAY Smart Classroom*. Esse ambiente possui relatórios de pontuações com a evolução da aprendizagem dos alunos em determinadas disciplinas e dispositivos móveis que possibilitam o aprendizado em qualquer lugar e a todo momento (OKAY SMART EDUCATION, 2017, 2020).

A *Samsung Electronics*, agora analisada sua atuação na Coreia, criou o programa *Smart School* que oferece um sistema de ensino de alta tecnologia com lousas interativas, *tablets*, *laptops* e sistema de ensino personalizado para escolas carentes em áreas remotas, com objetivo de diminuir a lacuna na educação digital (SAMSUNG, 2020b). A empresa também possui programas em outros países, como o *Samsung OneWeek*, no qual seus profissionais, de forma voluntária, dedicam cinco dias das suas férias para ensinar TI e desenvolver habilidades digitais de alunos em escolas carentes e em comunidades afastadas (SAMSUNG, 2020c). Além disso, o programa *Samsung Innovation Campus* visa desenvolver as habilidades requeridas pela I4, oferecendo treinamentos em IoT, BD, CC e programação para jovens de 14 a 18 anos (SAMSUNG, 2020a)

A *Total Soft Bank* é uma empresa de soluções inovadoras de softwares para a logística portuária, que utiliza tecnologias como RA e RV para criar produtos de treinamento para indústrias e instituições de ensino. Seus produtos simulam ambientes de treinamento, utilizando

a RV para as operações de controle de guindaste e ensinam desenho técnico com visualização de peças em 3D e com RA (TOTAL SOFT BANK, 2008, 2018).

#### 4.2.3.2 Governo

Na esfera governamental, o Ministério da Educação (MoE) de Taiwan tem realizado constantes reformas no ensino com objetivo de estimular a criação de ambientes avançados de aprendizagem digital e promover o uso do e-learning nos sistemas educacionais do país (MOE OF TAIWAN, 2012). O *Education Cloud* é uma plataforma desenvolvida com CC e BD pelo MoE, visando aumentar o aprendizado sobre as tecnologias digitais e fornecer recursos tecnológicos para professores e alunos (YANG; HUANG, 2016). O MoE criou o programa “*Digital Application Promotion Project for Remote Areas*” para desenvolver o uso de tecnologias digitais e fornecer financiamentos para construção de ambientes digitais em áreas remotas do país por meio do trabalho voluntariado de universitários e de profissionais do setor privado com objetivo de melhorar as condições sociais e econômicas do local (MOE OF TAIWAN, 2020)

O *Korea Education and Research Information Service* (KERIS) é uma área do Ministério de Educação da Coreia que promove o desenvolvimento da educação com a integração das TIC para a melhoria do ensino frente as demandas da Quarta Revolução Industrial (KERIS, 2020a). Seus projetos utilizam IA, BD e CC para melhorar o ensino básico, apoiar o desenvolvimento de políticas educacionais, oferecer treinamentos a distância para professores e digitalizar bibliotecas (KERIS, 2020b). O KERIS possui também uma plataforma de *e-learning*, destinado ao ensino superior, que contém vídeos e materiais de aula gratuitos em diversos temas, inclusive na área da I4 para estimular o compartilhamento de conhecimento (KOCW, 2015; LIM, C.; LEE; CHOI, 2019).

#### 4.2.3.3 Academia

As principais iniciativas acadêmicas de Taiwan foram analisadas com base nos autores e universidades de destaque no tema. Gwo-Jen Hwang, Ying Shao Hsu, Chin Chung Tsai utilizaram as tecnologias de aprendizagem para melhoria do desempenho dos alunos em disciplinas do ensino fundamental e médio.

Gwo-Jen Hwang possui pesquisas focadas na combinação de IA, aprendizagem móvel, RA e RV com as abordagens de sala de aula invertida e uso de jogos digitais. Ele desenvolveu

uma atividade prática com RV para o ensino de Eletromagnetismo em uma plataforma de sala de aula invertida para aumentar o interesse e a motivação dos seus alunos no conteúdo. Ying Shao Hsu utiliza simulação com RA para desenvolver ferramentas tecnológicas e softwares que promovam o interesse nas áreas das Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM). Em uma das suas pesquisas, foi utilizada uma ferramenta de simulação de cirurgia cardíaca desenvolvida por engenheiros e médicos de universidades de Taiwan no ensino de ciências e nela foi constatado um aumento da compreensão dos alunos sobre a importância da relação entre as áreas da STEM (HSU, Y. S.; LIN; YANG, 2017). Akeem Pedro, C.S. Park e Q.T. Le desenvolveram tecnologias de RV para o ensino de métodos de construção civil devido ao fato de que os trabalhadores nesta indústria são frequentemente acometidos por acidentes, lesões e fatalidades, por causa da falta de experiência e treinamentos adequados. Essas tecnologias tornaram o ambiente de aprendizagem mais seguro e ainda sim permitiram a experiências práticas no tema (LE; PEDRO; PARK, 2015; PEDRO; LE; PARK, 2016; PHAM *et al.*, 2018).

As universidades *National Taiwan University of Science and Technology* (NTUST) e *National Taiwan Normal University* (NTNU) de Taiwan e a *Ewha Womans University* (EWU) da Coreia do Sul se destacaram por realizarem importantes estudos sobre a E4.

Os estudos da NTUST identificaram grandes potenciais na combinação da RA com a modelagem de informações de construção (BIM) para o ensino e prática de arquitetura e engenharia civil (DIAO; SHIH, 2019) e no uso dessa tecnologia no ensino de design de layouts, permitindo que os alunos desenvolvam atividades de design de interiores de edifícios interagindo com ambientes 3D (CHANG, Y. S. *et al.*, 2020). A universidade também aplicou a RV no ensino de práticas de parto para alunos de graduação em enfermagem. A pesquisa verificou que aplicação dessa tecnologia diminuiu a ansiedade dos alunos durante as aulas e permitiu uma melhor aprendizagem prática (CHANG, C. Y. *et al.*, 2019).

A NTNU estudou o uso da RA em aulas de geografia sobre clima e em aulas de educação física no desenvolvimento de habilidades motoras (CHANG, K. E. *et al.*, 2020; HSIAO *et al.*, 2016). Essa tecnologia também foi aplicada para crianças no ensino fundamental, em que foi desenvolvido um ambiente 3D colaborativo onde cada aluno poderia criar suas próprias histórias e se relacionar com os outros. Os resultados dessa aplicação mostraram que a RA pode facilitar o desenvolvimento de crianças em trabalho em grupo (HSU, T. C., 2019). A universidade também propôs e aplicou um framework pedagógico chamado *Learner-Immersed Virtual Interactive Expedition* (LIVIE) no ensino de geografia. O LIVIE é pautado no uso de simulações com RV que permitem aos alunos explorar ambientes 3D das localizações que estão sendo estudadas (JONG *et al.*, 2020).

A EWU desenvolveu um sistema de predição baseado em *machine learning* de evasão de alunos do ensino superior sul coreano. Essa tecnologia permite que os responsáveis pelas instituições de ensino possam atuar com antecedência em casos em que o aluno apresente grande risco de desistência (CHUNG; LEE, 2019). A universidade também conduziu estudos sobre o uso de RA no ensino de habilidades criativas para redação e *story-retelling* e em programas educacionais de STEM a partir do modelo de aprendizagem de investigação, que é uma metodologia de aprendizagem ativa (AHN; CHOI, 2015, 2016).

#### 4.2.4 Recomendações para desenvolvimento da E4

Dessa forma, foram identificadas e analisadas iniciativas empresariais, governamentais e acadêmicas, patentes, leis, artigos científicos e desafios e oportunidades científicos da E4. Essas informações foram objeto de benchmarking, ou seja, compiladas, adaptadas e ampliadas à luz da experiência da autora para subsidiar a proposição das recomendações de desenvolvimento da E4 para os agentes da Triple Helix. As recomendações foram elaboradas para indústria, governos e academia superarem os desafios, explorarem as oportunidades e adotarem políticas e iniciativas de referência da E4. Suas propostas estão segmentadas em diferentes temas, denominados domínios para cada agente da Triple Helix e estão sintetizadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Recomendações para desenvolvimento da E4

(continua)

| Agente   | Domínios    | Políticas e Iniciativas   | Triple Helix                  |
|--|-------------|---|-------------------------------|
| <br>Indústria | Treinamento | Criar plataformas de treinamento online para funcionários e terceirizados   | Indústria e Academia          |
|  |             | Utilizar instrumentos da E4 nos treinamentos para atividades que oferecem risco a segurança do trabalhador ou que são difíceis de implementar e reproduzir                              | Indústria e Academia          |
|  |             | Fazer parcerias com universidades e escolas para modernização de currículos e realização de estágios de forma a desenvolver as habilidades requeridas pela I4 nos futuros profissionais | Indústria, Governo e Academia |
|  | Tecnologia  | Fazer parcerias com universidades e escolas para o desenvolvimento e comercialização de tecnologias da E4   | Indústria e Academia          |
|  |             | Desenvolver e comercializar plataformas educacionais para viabilizar a educação personalizada e adaptativa  | Indústria, Governo e Academia |

Quadro 6 – Recomendações para desenvolvimento da E4

(conclusão)

| Agente  | Domínios              | Políticas e Iniciativas   | Triple Helix                  |
|---|-----------------------|---|-------------------------------|
| <br>Governo    | Política e Legislação | Desenvolver política nacional com diretrizes, objetivos e planos de ação para modernização do ensino com base na E4, o que inclui atividades de formação de pessoas, gestão educacional e desenvolvimento de infraestrutura | Indústria, Governo e Academia |
|   | Educação              | Fomentar a adoção de abordagens e tecnologias da E4 em todos os níveis do ensino  | Governo e Academia            |
|   |                       | Criar centros que deem suporte para universidades públicas e privadas desenvolverem plataformas de ensino online com base na E4   | Indústria, Governo e Academia |
|   | Economia              | Criar infraestrutura tecnológica para desenvolvimento da E4 no ensino público   | Governo e Academia            |
|   |                       | Apoiar financeiramente o desenvolvimento de projetos e centros de pesquisas sobre tecnologias da E4   | Indústria, Governo e Academia |
|   |                       | Criar programas de financiamento e parcerias com empresas para capacitação de futuros profissionais nas tecnologias da I4   | Indústria, Governo e Academia |
| <br>Academia | Educação              | Desenvolver metodologias para a inserção da E4 na formação de professores   | Governo e Academia            |
|   |                       | Utilizar as tecnologias da E4 para a inclusão de alunos portadores de necessidades especiais em escolas, universidades e mercado de trabalho  | Indústria, Governo e Academia |
|   |                       | Utilizar a E4 nas abordagens educacionais para o ensino de áreas da STEM  | Governo e Academia            |
|   |                       | Incluir e ofertar o aprendizado híbrido nos seus cursos e programas   | Academia                      |
|   | Pesquisa              | Investigar os impactos e desafios da integração das tecnologias da I4 ao ensino   | Academia                      |
|   |                       | Propor soluções para integração de tecnologias I4 ao ensino   | Indústria, Governo e Academia |
|   |                       | Mapear as habilidades e competências necessárias para profissionais atuarem na I4 e introduzi-las nas grades curriculares   | Indústria, Governo e Academia |

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As ações propostas no Quadro 6 relativas à Indústria foram divididas nos domínios Treinamento e Tecnologia. Em Treinamento é proposta a realização de parcerias entre empresas, universidades e escolas para qualificação dos alunos de acordo com as habilidades requeridas pela I4 a partir da modernização de currículos e realização de estágios, auxiliando no

desenvolvimento de futuros profissionais. O treinamento nas empresas pode ser oferecido por meio de plataformas de ensino online para capacitação dos seus funcionários, inclusive sobre as tecnologias da I4. Além disso, as empresas podem comercializar esses cursos e fornecer consultorias para outras organizações que desejam adotar as tecnologias da I4. Os treinamentos podem ser oferecidos por meio das tecnologias da E4 como RV, RA e simulação. Destacam-se os benefícios do uso dessas tecnologias nos treinamentos que oferecem risco de segurança do trabalhador ou que são difíceis de implementar e reproduzir (MIAN *et al.*, 2020; PEDRO; LE; PARK, 2016).

No domínio Tecnologia são propostos o desenvolvimento e a comercialização de plataformas educacionais que utilizam ferramentas de IA e BD para viabilizar a educação personalizada e adaptativa. Essas tecnologias são úteis para suportar os professores no processo de ensino-aprendizagem por meio de *chatbots*, assistente virtual e com o fornecimento de relatórios inteligentes sobre o desempenho acadêmico dos alunos. É proposto também que empresas façam parcerias com universidades para pesquisa e desenvolvimento de hardwares e softwares eficazes para E4 (ALMOHAMMADI *et al.*, 2017; HUDA *et al.*, 2017).

As ações propostas no Quadro 6 relativas ao Governo estão divididas nos domínios Política e Legislação, Educação e Economia. As propostas para Políticas e Legislação são importantes para promover e incentivar a E4 a partir da criação de diretrizes, objetivos e planos de ação para modernização do ensino. O acesso a computadores, *tablets* e lousas interativas nas salas de aula deve ser ampliado. Além disso, as legislações devem garantir o acesso à educação de qualidade e o desenvolvimento das habilidades digitais dos estudantes para atender as demandas por profissionais capacitados para atuar na I4 (BENEŠOVÁ; TUPA, 2017).

No domínio Educação é proposto fomentar a adoção de tecnologias da E4 para engajar e motivar os alunos no processo ensino-aprendizagem em todos os níveis de ensino. É proposta a criação de centros que deem suporte ao desenvolvimento de plataformas de ensino online com tecnologias como BD, IA, CC para monitoramento do desempenho acadêmico e compartilhamento de atividades educacionais entre professores e alunos (POPENICI; KERR, 2017).

No domínio Economia é proposto a destinação de recursos financeiros para compra de computadores, *tablets* e fornecimento do acesso à Internet adequados, viabilizando a implementação da E4 em todos os níveis do ensino público. Além disso, é necessário que seja fomentada a criação de centros de pesquisas nas universidades em parceria com empresas e/ou outros países para o desenvolvimento das tecnologias E4 e capacitação de futuros profissionais nas tecnologias da I4 (WU, D. *et al.*, 2019).

As ações propostas no Quadro 6 relativas à Academia estão divididas nos domínios Educação e Pesquisa. Em Educação é proposto o desenvolvimento de metodologias para a inserção da E4 na formação de professores para que eles possam utilizá-las nos ambientes de ensino. A E4 deve ser empregada em cursos e programas para proporcionar maior inclusão de alunos nas escolas e no mercado de trabalho, inclusive para os alunos com deficiências a partir de maior autonomia e melhor qualificação. Além disso, ela deve ser implementada para aumentar o engajamento dos alunos nas disciplinas, principalmente na STEM. As escolas devem incluir e ofertar o aprendizado híbrido nos seus cursos e programas (GIL-FLORES; RODRÍGUEZ-SANTERO; TORRES-GORDILLO, 2017; HSU, Y. S.; LIN; YANG, 2017; SMITH *et al.*, 2017).

No domínio Pesquisa é sugerido a realização de pesquisas para aproveitar as oportunidades científicas para a superação dos desafios da E4 identificados neste trabalho. É essencial propor cada vez mais soluções para integração de tecnologias da I4 ao ensino e investigar os impactos dessa integração, sendo necessário o mapeamento das habilidades e competências necessárias para profissionais atuarem na I4 e introduzi-las nas grades curriculares (AKÇAYIR; AKÇAYIR, 2017; GUPTA; GOUL; DINTER, 2015).

Desse modo, as políticas e iniciativas propostas devem ser realizadas por meio de constante interações entre os agentes da *Triple Helix*. A interação entre governo-academia deve promover e fomentar o desenvolvimento da E4 por meio da formação de centros de pesquisa, criação de políticas para modernização do ensino e formação de professores para a melhoria da qualidade do ensino. A interação governo-indústria deve visar o fornecimento de financiamentos e infraestrutura tecnológica para E4 e realização de parcerias para criar programas de capacitação na I4. Por fim, a relação indústria-academia deve promover o desenvolvimento contínuo de pesquisas e inovações, comercialização de tecnologias no tema e disponibilização de infraestrutura necessária para o desenvolvimento da E4 nos ambientes de ensino.

## 5 TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS – EDTECH

Esta seção tem como objetivo identificar as principais empresas de tecnologias educacionais, seus produtos e serviços oferecidos. Para isso, foram realizadas novamente pesquisas em artigos científicos, patentes e relatórios empresariais. Com isso, será possível mapear e comparar as tecnologias e os aplicativos para educação mais utilizados, relevantes e disponíveis no mercado, visando contribuir com a elaboração do framework.

As tecnologias educacionais (EdTech) são ferramentas e recursos tecnológicos desenvolvidos para auxiliar professores e alunos nos ambientes de ensino. As EdTech representam a crescente tendência na adoção de recursos tecnológicos que visam motivar e engajar os alunos no processo de ensino-aprendizagem (MATTSSON; ANDERSSON, 2019; REGAN; KHWAJA, 2019). Os produtos e serviços ofertados pelas empresas de EdTech podem ser utilizados para oferecer ensino à distância, treinamentos e ferramentas de gestão para instituições de ensino (BURCH; MIGLANI, 2018).

As EdTech são empregadas com objetivo de trazer benefícios, principalmente, para os alunos, ao criar um ambiente de aprendizagem modernizado, personalizado e aprimorado (ROBERTS-MAHONEY; MEANS; GARRISON, 2016; ZEIDE, 2017). Elas são utilizadas com viés de apoiar a educação formal e informal, visando fornecer recursos educacionais para capacitação e aprendizagem. Dessa forma, elas podem contribuir para uma educação mais equitativa, inclusiva e democrática, possibilitando melhorias nas condições socioeconômicas dos indivíduos (ALENEZI, 2017; SANCHO-GIL; RIVERA-VARGAS; MIÑO-PUIGCERCÓS, 2020).

Entretanto, as empresas que desenvolvem EdTech deparam-se com diversas barreiras para comercializar suas ferramentas nas instituições de ensino, principalmente, nas públicas. Nesse tipo de instituição há desafios relacionados a restrições no orçamento e falta de incentivos para aquisição de tecnologias (JOSHI; VINAY; BHASKAR, 2020; MATTSSON; ANDERSSON, 2019). Além disso, há desafios relacionados a baixa aceitação de professores com em utilizar tecnologias, falta de infraestrutura tecnológica e de apoio para viabilizar sua implantação (HOCKLY; DUDENEY, 2018; ZEIDE, 2017).

Apesar disso, as empresas de EdTech têm impulsionado o mercado financeiro, principalmente, após o início da pandemia da COVID-19. Entre o período de janeiro a setembro de 2020, elas movimentaram 11,5 bilhões de dólares (DISTRITO, 2020). Em razão do período pandêmico, as plataformas de ensino e os softwares de vídeo chamada tornaram-se peças-

chaves para continuação da educação. Além disso, a busca por cursos online de capacitação profissional também cresceu (JOSHI; VINAY; BHASKAR, 2020).

Além disso, a busca pelas aplicações para dispositivos móveis com finalidade educacional, conhecidas por *mobile learning* (m-learning), também tem crescido nos últimos anos (AL-EMRAN; ELSHERIF; SHAALAN, 2016). Com a disseminação das tecnologias móveis, o m-learning está sendo considerado como uma evolução do e-learning com foco no desenvolvimento de aplicativos educacionais para *tablets* e *smartphones* (SHUKRI ALZAZA; RAZAK YAAKUB, 2011; TABOR, 2016).

O m-learning possibilita maior colaboração e comunicação entre os alunos e professores, possibilitando a melhoria do ensino. Por meio dele, o processo de ensino-aprendizagem torna-se mais flexível e autônomo, podendo ser aplicado em diversas áreas da educação como por exemplo na medicina, negócios e idiomas (AL-EMRAN; ELSHERIF; SHAALAN, 2016; AL-EMRAN; MEZHUYEV; KAMALUDIN, 2018). Dentre suas características principais, destaca-se a possibilidade do aprendizado ocorrer a qualquer hora e em qualquer lugar sem necessitar de uma conexão de Internet muito rápida e de infraestrutura tecnológica complexa (ALENEZI, 2017).

Sendo assim, é necessário compreender como as EdTech e aplicações de m-learning estão sendo implementadas para proposição de uma aplicação que seja bem-sucedida (CROMPTON; BURKE, 2018). Por isso, o foco desta seção é identificar os avanços nas EdTech e aplicações de m-learning, investigando as principais empresas da área. Para isso, três tipos de pesquisa diferentes foram conduzidos: na literatura técnica; na literatura científica; e nas páginas da *web*.

Na literatura técnica, os termos “*edtech*” ou “*ed-tech*” ou “*education technology*” ou “*educational technology*” ou “*mobile learning*” ou “*m-learning*” ou “*mlearning*” foram pesquisados nos títulos, resumos e reivindicações de patentes depositadas no The Lens, conforme o Quadro 7.

Quadro 7 – Pesquisa Técnica

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Plataforma</b>         | The Lens   |
| <b>Pesquisa em</b>        | Título, resumo e reivindicações  |
| <b>Termos pesquisados</b> | “ <i>edtech</i> ” OR “ <i>ed-tech</i> ” OR “ <i>education technology</i> ” OR “ <i>educational technology</i> ” OR “ <i>mobile learning</i> ” OR “ <i>m-learning</i> ” OR “ <i>mlearning</i> ” |
| <b>Período</b>            | De 2016 até fevereiro de 2021  |
| <b>Resultados</b>         | <b>221 patentes</b>  |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O The Lens é uma plataforma de dados de patentes, gratuita e aberta, que possibilita a análise de mais de 100 milhões de patentes depositadas ao redor do mundo (LENS, 2021). A pesquisa foi limitada ao período de publicação entre o ano de 2016 até fevereiro de 2021, totalizando 221 patentes identificadas.

Na pesquisa científica, a base Scopus foi utilizada para buscar artigos e revisões científicas que continham no título ou no resumo os termos apresentados no Quadro 8 – Pesquisa Científica.

Quadro 8 – Pesquisa Científica

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Fonte de dados</b> | Scopus  |
| <b>Pesquisa em</b>    | Título e resumo   |
| <b>Termos</b>         | “edtech” OR “ed-tech”<br>OR<br>“m-learning” OR “mlearning” OR “mobile learning” OR “education* technolog*”<br>AND<br>“compan*” OR “enterprise” OR “Corporation” OR “firm” OR “startup” OR<br>“start-up” |
| <b>Período</b>        | 2016 até fevereiro 2021   |
| <b>Resultados</b>     | <b>148 publicações científicas</b>  |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os termos utilizados foram “*edtech*”, “*ed-tech*”, “*m-learning*”, “*compan\**”, “*enterprise*”, “*corporation*”, “*firm*”, “*start-up*” para encontrar artigos que citam as empresas de EdTech. Cabe ressaltar que o asterisco (\*) é um caractere coringa utilizado para englobar derivações no termo pesquisado. O resultado da pesquisa foi limitado no período de 2016 até o final de fevereiro de 2021, resultando em 148 publicações científicas identificadas. Com isso, foram selecionadas as 30 publicações mais citadas para identificação das empresas de EdTech.

Nas páginas da *web*, o site de busca da Google foi utilizado para pesquisar as empresas EdTech, conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Pesquisa em *websites* empresariais

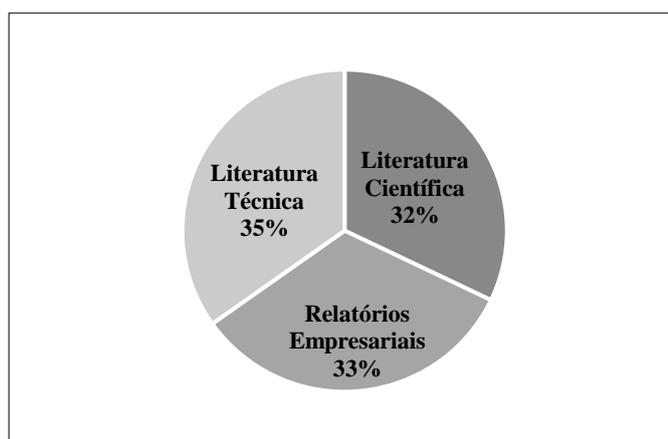
|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Mecanismo de busca</b> | Google  |
| <b>Termos pesquisados</b> | Edtech companies  |
| <b>Data da pesquisa</b>   | Fevereiro de 2021   |
| <b>Resultados</b>         | 4 principais sites: Holon QI, RS Components, UNESCO e Yahoo Finance |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Dentre os resultados, 4 principais sites foram selecionados para serem consultados. O primeiro é o site da *HolonIQ* que mapeou as empresas EdTech unicórnio, ou seja, as empresas que possuem valor de mercado avaliado acima de 1 bilhão de dólares (HOLON IQ, 2021). O segundo é da empresa inglesa *RS Components* que elaborou o relatório com as empresas EdTech que mais receberam investimentos no ano de 2019 (RS, 2020). O terceiro é o site da UNESCO que recomendou ferramentas para professores e alunos utilizarem durante a pandemia de forma a viabilizar o ensino à distância (UNESCO, 2020). Por fim, o quarto site acessado foi da *Yahoo Finance*, que identificou as maiores empresas de EdTech no mundo (SHAHID, 2021).

Portanto, por meio da análise de patentes, artigos científicos e páginas da *web*, foi possível identificar 405 empresas de EdTech. Na Figura 10 está apresentada a porcentagem de empresas identificadas em cada fonte de dados.

Figura 10 – Porcentagem de empresas identificadas por fonte de dados



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Dessa forma, 35% das empresas identificadas são provenientes da literatura técnica, 32% da literatura científica e 33% dos relatórios empresariais em *websites*. Cabe ressaltar que algumas dessas iniciativas de EdTech vieram de universidades, visto que a demanda por tecnologias educacionais surge dentro das próprias instituições de ensino. Entretanto, as universidades não foram contabilizadas e mapeadas nesta etapa, pois o objetivo desta seção é identificar somente empresas.

Em seguida, os dados coletados foram consolidados em uma planilha do Excel para composição da base das empresas mapeadas. O total de empresas citadas na literatura técnica, científica e nas páginas da *web* foi respectivamente: 141, 130 e 134. Ao consolidar as empresas, notou-se que algumas foram indicadas mais de uma vez por fontes diferentes, como por

exemplo, a organização *Coursera* foi mencionada em quatro artigos diferentes (4) e foi indicada em quatro das páginas da web (4), portanto, ela obterá a frequência igual a quatro ( $4+4=8$ ). Com isso, o valor total encontrado foi de 298 empresas distintas, que foram classificadas em ordem decrescente de acordo com a sua frequência.

Para a delimitação das empresas a serem analisadas, utilizou-se o método de amostragem não estatística, pois determina que o tamanho da amostra implica de forma não significativa na condução da pesquisa (VAN DER NEST; SMIDT; LUBBE, 2015). Sendo assim, escolheu-se as empresas que obtiveram frequência igual ou maior que 3, totalizando 19 organizações de EdTech.

A análise consistiu na caracterização das empresas EdTech por meio da identificação do seu país sede, nível educacional, categoria, descrição, produtos e serviços ofertados, principais tecnologias da E4 utilizadas e a verificação se a empresa possui aplicativo para dispositivos móveis. O país sede foi identificado por meio do site *Crunchbase* que possui uma ampla base de dados sobre empresas privadas (CRUNCHBASE, 2021). O nível educacional, a descrição, os produtos e serviços ofertados foram determinados pelo site da empresa da própria empresa. A categoria foi dividida com base na classificação utilizada no relatório EdTech Report 2020 Distrito. Elas podem ser: Conteúdo educativo; Ensino específico; Ferramentas para instituições; Foco no estudante; Novas formas de ensino; e Plataforma para educação.

A categoria “Conteúdo educativo” abrange os sites que disponibilizam livros e vídeos voltados para o ensino. A categoria “Ensino específico” engloba plataformas destinada para educação e cursos como de outro idioma, ou sobre tecnologia, finanças, empreendedorismo e até mesmo desenvolvimento de habilidades. A categoria “Ferramentas para instituições” compreende as empresas que desenvolvem e comercializam produtos e serviços como softwares e outras tecnologias para gestão e uso nas salas de aulas como por exemplo servidores, banco de dados, computação em nuvem etc. A categoria “Foco no estudante” refere-se a empresas que buscam aumentar a produtividade e melhorar qualidade do ensino, preparando alunos para vestibulares e concursos com aulas e tutorias, complementando o aprendizado da sala de aula. A categoria “Novas formas de ensino” inclui as empresas de ensino digital que utilizam diferentes ferramentas e metodologias como gamificação, RA e virtual, aprendizagem adaptativa, ou abordagens que visam aumentar a inclusão e equidade no ensino. A categoria “Plataformas para educação” engloba as plataformas que viabilizam o ensino à distância, gestão do aprendizado virtual e aulas particulares (EDTECH Distrito Report, 2020).

As empresas analisadas e as suas informações coletadas estão apresentadas no

Quadro 10. Em algumas das empresas mapeadas, as tecnologias utilizadas por elas não estavam indicadas de forma explícita, contudo, por meio da solução tecnológica proposta pela empresa é possível deduzir quais as tecnologias empregadas para que tal aplicação funcione. Nesse caso, as tecnologias estão indicadas com o símbolo asterisco (\*) ao lado.

Quadro 10 – Empresas EdTech Mapeadas

(continua)

| # | Empresa                              | Freq. | País sede                 | Nível Educacional   | Categoria  | Descrição   | Produtos e/ou serviços ofertados  | Principal tecnologia                        | Versão mobile        |
|---|--------------------------------------|-------|---------------------------|---|--|---|---|---|----------------------|
| 1 | <b>Coursera</b>                      | 8     | Estados Unidos da América | Ensino Superior/Pós-graduação/<br>Treinamento Corporativo | Plataforma para educação/<br>Novas formas de ensino                        | Plataforma com cursos online para graduação, capacitação corporativa e pós-graduação.   | A empresa oferece cursos de graduação e pós-graduação de universidades renomadas à distância, cursos online e treinamentos com certificação, utilizando IA e recursos digitais para monitoramento e avaliação de desempenho dos alunos. Os cursos podem ser contratados de forma individual ou coletiva por universidades, governos e indústria | e-learning/<br>m-learning,<br>BD,<br>IA, CC | Sim                  |
| 2 | <b>Hefei Tanao Automation Co Ltd</b> | 7     | China                     | Ensino infantil/<br>Ensino fundamental/<br>Ensino Médio   | Ferramentas para instituições/<br>Conteúdo educativo                       | Empresa de serviços e produtos tecnológicos para educação   | A empresa desenvolve tecnologias de ponta para exposições e ensino de ciências em escolas, museus e empresas  | Sensores, robôs, RV, RA, BD*, CC*           | Não foi identificado |
| 3 | <b>edX</b>                           | 6     | Estados Unidos da América | Ensino Superior/Pós-graduação/<br>Treinamento Corporativo | Plataforma para educação/<br>Novas formas de ensino                        | Plataforma de educação à distância sem fins lucrativos que oferece cursos de graduação, pós-graduação e capacitação corporativa em parceria com universidades renomadas | A empresa oferece cursos e certificações em áreas como IA, BD, <i>Machine Learning</i> e programação, por meio da plataforma interativa de ensino online, que permite o monitoramento do desempenho dos alunos, engajamento, feedback e curadoria   | e-learning,<br>BD*,                         | Sim                  |
| 4 | <b>Microsoft</b>                     | 6     | Estados Unidos da América | Ensino fundamental/<br>Ensino Médio/<br>Ensino Superior   | Ferramentas para instituições/<br>Plataformas para educação                | Empresa de softwares, hardwares e serviços de suporte tecnológico   | A empresa adaptou seu pacote Office para educação e aprimorou o software <i>Microsoft Teams</i> com novos recursos que apoiam as aulas à distância. Além disso, ela oferece ferramentas para segurança e automatização de dados das instituições de ensino  | CC*   | Sim                  |
| 5 | <b>Udacity</b>                       | 6     | Estados Unidos da América | Ensino Superior/<br>Treinamento Corporativo               | Ensino específico/<br>Novas formas de ensino/<br>Plataformas para educação | Plataforma de ensino online com cursos específicos, individuais ou para empresas e governos   | Plataforma com cursos voltados para capacitação em tecnologia como IA, CC e CyberSecurity. A empresa oferece feedback personalizado aos projetos realizados pelos alunos e análise das habilidades digitais demandas pelos funcionários das empresas que contratam o serviço  | BD*, e-learning*                            | Não foi identificado |

Quadro 10 – Empresas EdTech Mapeadas

(continuação)

| #  | Empresa                         | Freq. | País sede                 | Nível Educacional   | Categoria  | Descrição  | Produtos e/ou serviços ofertados  | Principal tecnologia                     | Versão mobile |
|----|---------------------------------|-------|---------------------------|---|--|--|---|--|---------------|
| 6  | <b>LinkedIn Learning</b>        | 6     | Estados Unidos da América | Ensino Superior/<br>Treinamento Corporativo   | Ensino Específico/<br>Conteúdo Educativo   | Subsidiária do LinkedIn que comercializa cursos para usuários do site, empresas e governos | Cursos online voltados para desenvolvimento de habilidades e competências frequentemente demandadas no mercado de trabalho como Metodologia Ágil, Excel e Seis Sigma  | m-learning*,<br>e-learning*,<br>BD*      | Sim           |
| 7  | <b>Google/ Google Classroom</b> | 5     | Estados Unidos da América | Ensino Fundamental/<br>Ensino Médio/<br>Ensino Superior                             | Ferramentas para instituição/<br>Plataformas para educação                           | Empresa softwares e tecnologia baseado em Internet   | A empresa desenvolveu a plataforma Classroom para alunos e professores, possibilitando o compartilhamento de atividades e material educativo. O site possui também ferramenta antiplágio e acesso ao Google Meet para realização de vídeo chamadas  | CC*, IA*,<br>e-learning*,<br>m-learning* | Sim           |
| 8  | <b>Blackboard</b>               | 4     | Estados Unidos da América | Ensino fundamental/<br>Ensino Médio/<br>Ensino Superior/<br>Treinamento Corporativo | Plataforma para educação/<br>Ferramentas para instituição/<br>Novas formas de ensino | Empresa de softwares educacionais e cursos online para escolas, indústria e governos       | Plataforma de ensino online e colaborativa que fornece relatórios sobre o nível de aprendizagem e desempenho dos alunos, oferecendo recursos tecnológicos para instituições de ensino gerir as matrículas dos alunos, recursos humanos e finanças. Além disso, ela fornece aos professores cursos para utilização de tecnologias e ferramentas para verificação de plágio, vídeo chamada e feedback | BD, m-learning*,<br>CC*                  | Sim           |
| 9  | <b>Byju's</b>                   | 4     | Índia                     | Ensino Fundamental/<br>Ensino Médio   | Novas formas de ensino/<br>Foco no estudante/<br>Conteúdo Educativo                  | Empresa de softwares para o processo de ensino-aprendizagem personalizado                  | Focado nas disciplinas de ciência e matemática, mas, possui todo conteúdo do ensino básico, de forma personalizada para cada aluno e acesso a professores online para dúvidas e feedback. A empresa também oferece cursos preparatórios para exames e concursos e, comercializa livros  | m-learning*,<br>BD*,                     | Sim           |
| 10 | <b>Duolingo</b>                 | 4     | Estados Unidos da América | Ensino infantil/<br>Ensino fundamental/<br>Ensino Médio/<br>Ensino Superior         | Ensino específico/<br>Novas formas de ensino   | Plataforma de ensino de idiomas  | A empresa oferece cursos de quase 40 idiomas por meio de um aplicativo com aprendizagem personalizada e análise de desempenho   | m-learning*,<br>BD*                      | Sim           |
| 11 | <b>Udemy</b>                    | 4     | Estados Unidos da América | Ensino Superior/<br>Treinamento Corporativo   | Plataforma para educação/<br>Novas formas de ensino/<br>Ensino específico            | Plataforma de cursos online direcionados ao mercado de trabalho                            | A empresa oferece cursos online para empresas e governos, com opção e recursos para professores criarem seus próprios cursos, gravarem aulas e compartilharem exercícios. A plataforma viabiliza o aprendizado personalizado para cada aluno, monitoramento e avaliação do engajamento de cada aluno  | m-learning*,<br>BD*, CC*                 | Sim           |

Quadro 10 – Empresas EdTech Mapeadas

(continuação)

| #  | Empresa             | Freq. | País sede                 | Nível Educacional   | Categoria  | Descrição  | Produtos e/ou serviços ofertados   | Principal tecnologia               | Versão mobile        |
|----|---------------------|-------|---------------------------|---|--|--|--|------------------------------------|----------------------|
| 12 | <b>AltSchool</b>    | 3     | Estados Unidos da América | Ensino infantil/<br>Ensino fundamental/<br>Ensino Médio                             | Plataforma para educação/<br>Novas formas de ensino                        | Empresa de software e tecnologia educacional                               | A empresa fornece consultoria para escolas com treinamento de professores sobre diferentes práticas pedagógicas centrada no aluno. Além disso, a empresa possui uma plataforma digital para criação e gestão de metas, desempenho e atividades baseada na aprendizagem personalizada e individual dos alunos   | BD*, e-learning*                   | Não foi identificado |
| 13 | <b>Khan Academy</b> | 3     | Estados Unidos da América | Ensino fundamental  | Conteúdo educativo/<br>Foco no estudante                                   | Plataforma com aulas gratuitas para complementar o ensino fundamental      | Organização sem fins lucrativos e com acesso gratuito à plataforma, que oferece videoaulas e exercícios para alunos do ensino fundamental com objetivo de melhorar a aprendizagem e apoiar os professores  | e-learning*, m-learning*, BD*      | Sim                  |
| 14 | <b>Knewton</b>      | 3     | Estados Unidos da América | Ensino Superior   | Novas formas de ensino/<br>Ferramentas para instituições                   | Plataforma de ensino personalizado   | Plataforma de cursos variados com objetivo de fornecer aprendizagem adaptativa, identificando as necessidades dos alunos por meio de exercícios. A ferramenta é capaz de indicar aulas e vídeos que os alunos devem estudar com base no seu desempenho. Ela também fornece relatórios e gráficos que mensuram e avaliam a aprendizagem, fornecendo feedback personalizado aos alunos                       | BD*, m-learning*, IA               | Sim                  |
| 15 | <b>Moodle</b>       | 3     | Austrália                 | Ensino fundamental/<br>Ensino Médio/<br>Ensino Superior/<br>Treinamento Corporativo | Plataforma para educação/<br>Novas formas de ensino                        | Plataforma educacional livre e aberta                                      | Plataforma para ensino-aprendizagem online, gratuita, que apoia professores criarem ambientes de aprendizagem personalizados e colaborativos. Ela permite aulas à distância, treinamentos e venda de cursos  | e-learning*, m-learning*, CC*, BD* | Sim                  |
| 16 | <b>Newsela</b>      | 3     | Estados Unidos da América | Ensino Fundamental/<br>Ensino Médio   | Plataforma para educação/<br>Conteúdo educativo/<br>Novas formas de ensino | Empresa focada em atualizar e complementar o conteúdo ensinado nas escolas | Empresa educacional direcionada a engajar e impulsionar alunos, fornecendo material atualizado e alinhado com objetivos de aprendizagem. Além disso, ela oferece uma plataforma para ensino à distância ou integração com outra plataforma, software para capacitação de professores em tecnologias e artigos para suportar a alfabetização de alunos com recursos que visam a inclusão de todos os alunos | e-learning*, m-learning*, IA*      | Sim                  |

Quadro 10 – Empresas EdTech Mapeadas

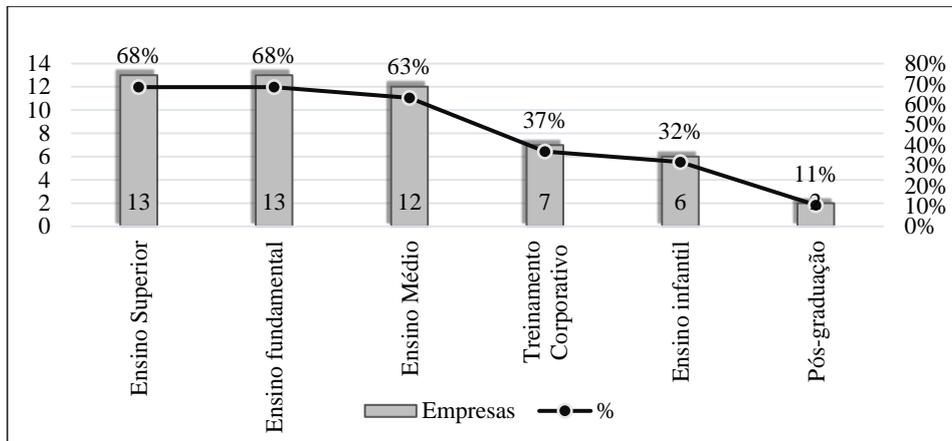
(conclusão)

| #  | Empresa          | Freq. | País sede                 | Nível Educacional   | Categoria  | Descrição  | Produtos e/ou serviços ofertados  | Principal tecnologia             | Versão mobile |
|----|------------------|-------|---------------------------|---|--|--|---|----------------------------------|---------------|
| 17 | <b>Pearson</b>   | 3     | Reino Unido               | Ensino infantil/<br>Ensino fundamental/<br>Ensino Médio/<br>Ensino Superior | Plataforma para educação/<br>Conteúdo Educativo/<br>Ensino Específico/<br>Ferramentas para instituição | Empresa que fornece produtos e serviços como livros e tecnologias educacionais | A empresa comercializa plataforma para educação à distância com livros, aulas online, laboratórios e cursos para formação de docentes. Além de fornecer às instituições de ensino ferramentas virtuais que as possibilitam oferecer seus cursos de forma online   | e-learning*,<br>m-learning*      | Sim           |
| 18 | <b>Quizlet</b>   | 3     | Estados Unidos da América | Ensino infantil/<br>Ensino fundamental/<br>Ensino Médio/<br>Ensino Superior | Foco no estudante/<br>Novas formas de ensino   | Plataforma que utiliza jogos para apoiar alunos com a aprendizagem             | Plataforma para apoiar o estudo de um determinado conteúdo por meio de cartões, quiz, diagramas e jogos   | m-learning*                      | Sim           |
| 19 | <b>Yuanfudao</b> | 3     | China                     | Ensino infantil/<br>Ensino fundamental/<br>Ensino Médio                     | Foco no estudante/<br>Plataforma para educação/<br>Novas formas de ensino                              | Plataforma de aulas e tutorias particulares                                    | É uma plataforma ensino online com professores particulares para o ensino de diversas disciplinas, desde o ensino infantil até o ensino médio, focada em desenvolver habilidades de programação, pensamento crítico e melhorar a absorção do conteúdo pelos alunos por meio da aprendizagem baseada em projetos | IA,<br>BD, m-learning,<br>CC, RV | Sim           |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A primeira análise consistiu na identificação do país sede, visando identificar onde as empresas de EdTech estão concentradas. As empresas identificadas são majoritariamente sediadas nos Estados Unidos (70%), seguido pela China (15%) e posteriormente pelo Reino Unido (5%), Austrália (5%) e Índia (5%) respectivamente. Conforme a Figura 11, as 19 empresas mapeadas apresentam aplicações para diferentes níveis educacionais.

Figura 11 – Classificação das empresas mapeadas para cada Nível Educacional

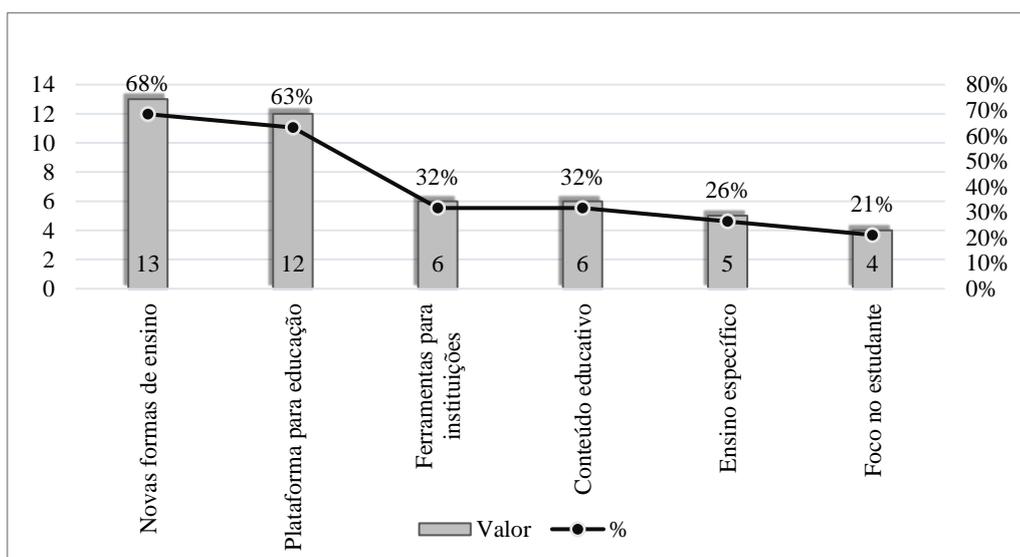


Fonte: Elaborado com base em The Lens; Scopus; Holon QI; RS Components; UNESCO; Yahoo Finance (2021).

Dentre eles, o Ensino superior e fundamental foram os que mais se destacaram, sendo identificados em 68% das empresas analisadas. Em seguida, o Ensino médio apareceu em 63% das empresas. O nível educacional Treinamento corporativo e Ensino infantil foram verificados respectivamente em 37% e 32% das empresas. Por fim, 11% das empresas possuem aplicações tecnológicas educacionais direcionadas a pós-graduação.

Em relação as categorias, Novas formas de ensino é a que mais foi encontrada entre as empresas analisadas, como está apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Classificação das empresas mapeadas para cada Categoria de produtos/serviços



Fonte: Elaborado com base em The Lens, Scopus, Holon QI, RS Components, UNESCO e Yahoo Finance (2021).

Novas formas de ensino está presente em 68% das empresas analisadas, seguida da categoria Plataforma para educação com 63%. As categorias Ferramentas para instituições e Conteúdo educativo tiveram a mesma representatividade de 32% entre as empresas. Por fim, a categoria Ensino específico com 26% e Foco no estudante com 21% totalizaram a análise.

Nesse sentido, todas as empresas puderam ser classificadas em mais de uma categoria de produtos e serviços ofertados, conforme mostrado no Quadro 11.

Quadro 11 – Quantidade de empresas mapeadas para cada Categoria

| <b>Categoria</b>   | <b>Qtd. de empresas</b> |
|--|-------------------------|
| Plataforma para educação/ Novas formas de ensino   | 4                       |
| Ferramentas para instituições/ Plataforma para educação  | 2                       |
| Ensino específico/ Novas formas de ensino/ Plataforma para educação                            | 2                       |
| Ferramentas para instituições/ Conteúdo educativo  | 1                       |
| Foco no estudante/ Novas formas de ensino  | 1                       |
| Ensino Específico/ Conteúdo Educativo  | 1                       |
| Conteúdo educativo/ Foco no estudante  | 1                       |
| Ensino específico/ Novas formas de ensino  | 1                       |
| Novas formas de ensino/ Ferramentas para instituições  | 1                       |
| Plataforma para educação/ Ferramentas para instituições/ Novas formas de ensino                | 1                       |
| Novas formas de ensino/ Foco no estudante/ Conteúdo Educativo                                  | 1                       |
| Plataforma para educação/ Conteúdo educativo/ Novas formas de ensino                           | 1                       |
| Foco no estudante/ Plataforma para educação/ Novas formas de ensino                            | 1                       |
| Plataforma para educação/ Conteúdo Educativo/ Ensino Específico/ Ferramentas para instituições | 1                       |

Fonte: Elaborado com base em The Lens; Scopus; Holon QI; RS Components; UNESCO; Yahoo Finance (2021).

Nota-se que as categorias Plataforma para educação e Novas formas de ensino foram as que mais se destacaram, sendo encontradas em quatro das empresas selecionadas. As categorias Ferramentas para instituições e Plataforma para educação foram classificadas em apenas duas das empresas mapeadas. Da mesma forma, as categorias Ensino específico, Novas formas de ensino e Plataforma para educação também foram representadas em duas empresas. As outras combinações de categorias foram encontradas somente em uma das empresas analisadas.

Em relação as principais tecnologias, foi possível identificar quais são as mais utilizadas em cada nível educacional pelas empresas analisadas, conforme a Quadro 6Quadro 12.

Quadro 12 – Tecnologias identificadas para cada Nível Educacional

| Tecnologia | Nível Educacional |                    |              |                 |               |                         |
|------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------|---------------|-------------------------|
|            | Ensino Infantil   | Ensino Fundamental | Ensino Médio | Ensino Superior | Pós-Graduação | Treinamento Corporativo |
| e-learning | 2                 | 6                  | 5            | 7               | 2             | 5                       |
| m-learning | 3                 | 9                  | 8            | 10              | 1             | 5                       |
| BD         | 3                 | 7                  | 6            | 8               | 1             | 6                       |
| CC         | 1                 | 5                  | 5            | 5               | 0             | 3                       |
| IA         | 1                 | 3                  | 3            | 2               | 0             | 0                       |
| Sensores   | 1                 | 1                  | 1            | 0               | 0             | 0                       |
| Robôs      | 1                 | 1                  | 1            | 0               | 0             | 0                       |
| RV         | 1                 | 1                  | 1            | 0               | 0             | 0                       |
| RA         | 1                 | 1                  | 1            | 0               | 0             | 0                       |

Fonte: Elaborado com base em The Lens; Scopus; Holon QI; RS Components; UNESCO; Yahoo Finance (2021).

Dessa forma, é possível destacar que as tecnologias e-learning, m-learning, BD e CC são as mais exploradas para o Ensino Fundamental, Médio e Superior entre as empresas selecionadas. As tecnologias de e-learning, m-learning e BD se destacam para o Treinamento Corporativo. Além disso, nota-se aplicação de tecnologias como sensores, robôs, RV e RA para o Ensino Infantil, Fundamental e Médio.

A relação das principais tecnologias utilizadas por cada categoria de empresa EdTech está apresentada na Quadro 13.

Quadro 13 – Tecnologias identificadas para Categoria de produtos/serviços

| Tecnologia | Categoria                |                        |                               |                    |                   |                   |
|------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|            | Plataforma para Educação | Novas formas de Ensino | Ferramentas para Instituições | Conteúdo Educativo | Ensino Específico | Foco no Estudante |
| e-learning | 8                        | 6                      | 2                             | 4                  | 3                 | 1                 |
| m-learning | 8                        | 10                     | 4                             | 5                  | 4                 | 4                 |
| BD         | 8                        | 11                     | 3                             | 4                  | 4                 | 3                 |
| CC         | 7                        | 5                      | 4                             | 1                  | 1                 | 1                 |
| IA         | 4                        | 4                      | 2                             | 1                  | 0                 | 1                 |
| Sensores   | 0                        | 0                      | 1                             | 1                  | 0                 | 0                 |
| Robôs      | 0                        | 0                      | 1                             | 1                  | 0                 | 0                 |
| RV         | 1                        | 1                      | 1                             | 1                  | 0                 | 1                 |
| RA         | 0                        | 0                      | 1                             | 1                  | 0                 | 0                 |

Fonte: Elaborado com base em The Lens; Scopus; Holon QI; RS Components; UNESCO; Yahoo Finance (2021).

É possível identificar que o *e-learning*, *m-learning*, BD e CC são tecnologias frequentemente utilizadas em Plataformas para educação e Novas formas de ensino pelas empresas mapeadas. Além disso, as categorias Ferramentas para instituições e Conteúdo educativo utilizam todas as tecnologias identificadas. Por fim, 84% das empresas mapeadas possuem um aplicativo para dispositivos móveis, sendo que em 16% das empresas analisadas não foi identificado essa funcionalidade.

## 6 ANÁLISE DAS RESPOSTAS AOS QUESTIONÁRIOS

Esta seção tem como objetivo investigar e analisar a percepção, atitude e conhecimento dos alunos e professores sobre a utilização de tecnologias e aplicativos educacionais no ensino superior. Para isso, os questionários elaborados foram enviados para os coordenadores das universidades escolhidas para que fossem compartilhados com seus docentes e discentes. Dessa forma, foram obtidas 14 respostas válidas de professores e 47 respostas de alunos. Contudo, não serão realizadas inferências tendo em vista que a quantidade de respostas não foi estatisticamente significativa. Com isso, foram realizadas análises descritivas das respostas nas subseções a seguir.

### 6.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS COLETADAS DE PROFESSORES

As características relacionadas ao perfil dos professores que responderam à pesquisa são apresentadas na Tabela 2

Tabela 2 – Características dos professores respondentes

| <b>Gênero</b>                        | <b>Quant.</b> | <b>%</b>    |
|--------------------------------------|---------------|-------------|
| Feminino                             | 2             | 14%         |
| Masculino                            | 12            | 86%         |
| <b>Total</b>                         | <b>14</b>     | <b>100%</b> |
| <b>Universidade</b>                  |               |             |
| UNESP                                | 5             | 36%         |
| USP                                  | 4             | 29%         |
| UFF                                  | 2             | 14%         |
| UNISAL                               | 2             | 14%         |
| UERJ                                 | 1             | 7%          |
| <b>Total</b>                         | <b>14</b>     | <b>100%</b> |
| <b>Tempo de atuação como docente</b> |               |             |
| Menos de 1 ano                       | 2             | 14%         |
| 1 ano                                | 2             | 14%         |
| 5 anos                               | 2             | 14%         |
| 6 anos                               | 1             | 7%          |
| 7 anos                               | 1             | 7%          |
| 10 anos                              | 4             | 29%         |
| 15 anos                              | 1             | 7%          |
| 22 anos                              | 1             | 7%          |
| <b>Total</b>                         | <b>14</b>     | <b>100%</b> |

(continua)

Tabela 2 – Características dos professores respondentes

(conclusão)

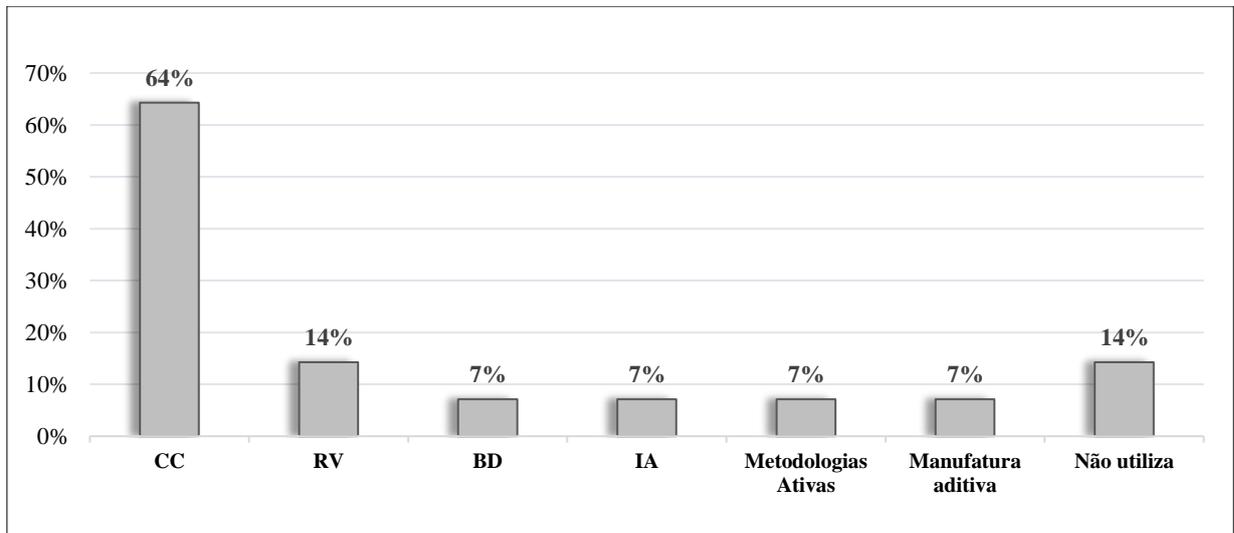
| <b>Idade</b>                                    |           |             |
|---|-----------|-------------|
| 28 anos   | 1         | 7%          |
| 34 anos   | 1         | 7%          |
| 35 anos   | 1         | 7%          |
| 36 anos   | 1         | 7%          |
| 39 anos   | 1         | 7%          |
| 45 anos   | 4         | 29%         |
| 49 anos   | 1         | 7%          |
| 50 anos   | 1         | 7%          |
| 52 anos   | 1         | 7%          |
| 59 anos   | 1         | 7%          |
| 66 anos   | 1         | 7%          |
| <b>Total</b>                                    | <b>14</b> | <b>100%</b> |
| <b>Disciplinas lecionadas</b>                   |           |             |
| Engenharia de Operações e Processos da Produção | 8         |             |
| Engenharia da Qualidade                         | 5         |             |
| Engenharia Organizacional                       | 4         |             |
| Engenharia da Sustentabilidade                  | 4         |             |
| Cadeia de Suprimentos                           | 2         |             |
| Pesquisa Operacional                            | 2         |             |
| Engenharia do Trabalho                          | 2         |             |
| Engenharia Econômica                            | 2         |             |
| Educação em Engenharia de Produção              | 2         |             |
| Engenharia do Produto                           | 1         |             |
| <b>Total</b>                                    | <b>32</b> |             |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Nota-se que a maioria dos respondentes são homens (86%) e as universidades que mais contribuíram com a pesquisa foram UNESP (36%) e USP (29%). Apenas 43% dos professores lecionam há 10 anos ou mais na área, sendo que, 71% deles têm menos de 50 anos de idade. As disciplinas, segundo as classificações da ABEPRO, que esses professores mais atuam são: Engenharia de Operações e Processos de Produção; Engenharia da Qualidade; Engenharia Organizacional; e Engenharia da Sustentabilidade.

Na Figura 13 estão apresentadas as tecnologias mais utilizadas pelos docentes que responderam à pesquisa.

Figura 13 – Tecnologias mais utilizadas pelos respondentes

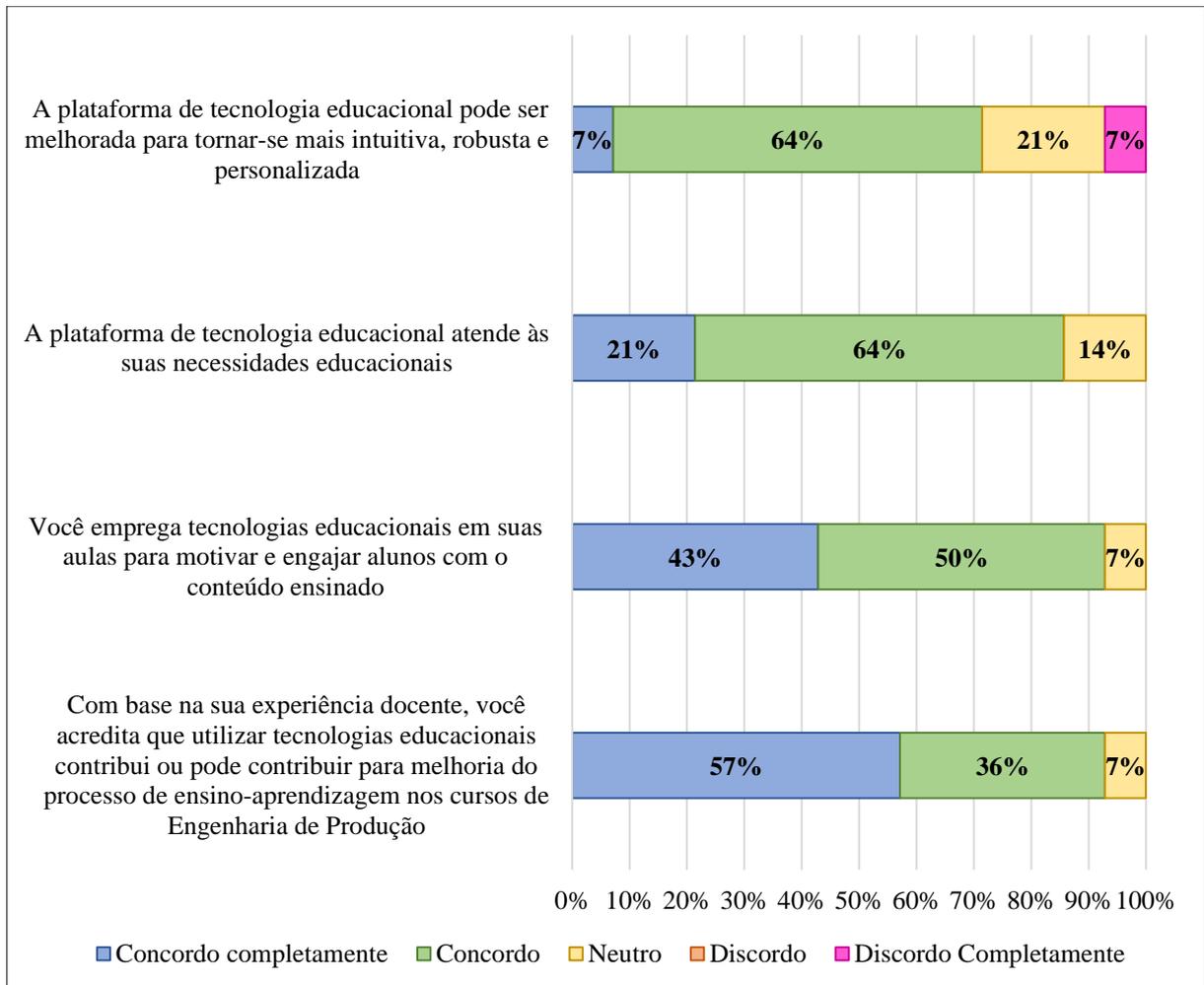


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As tecnologias mais utilizadas pelos docentes são CC (64%) e RV (14%), sendo que 14% não utilizam nenhuma das tecnologias listadas. Além disso, 43% indicaram que em sua universidade não há uma plataforma de tecnologia educacional desenvolvida para dispositivos móveis. Contudo, cabe destacar que, professores da mesma universidade indicaram respostas conflitantes para essa questão.

Na Figura 14 estão apresentadas as respostas para as perguntas relacionadas à plataforma de tecnologia educacional utilizada pelos professores que responderam à pesquisa.

Figura 14 – Demanda/oportunidade em relação à plataforma de tecnologia educacional

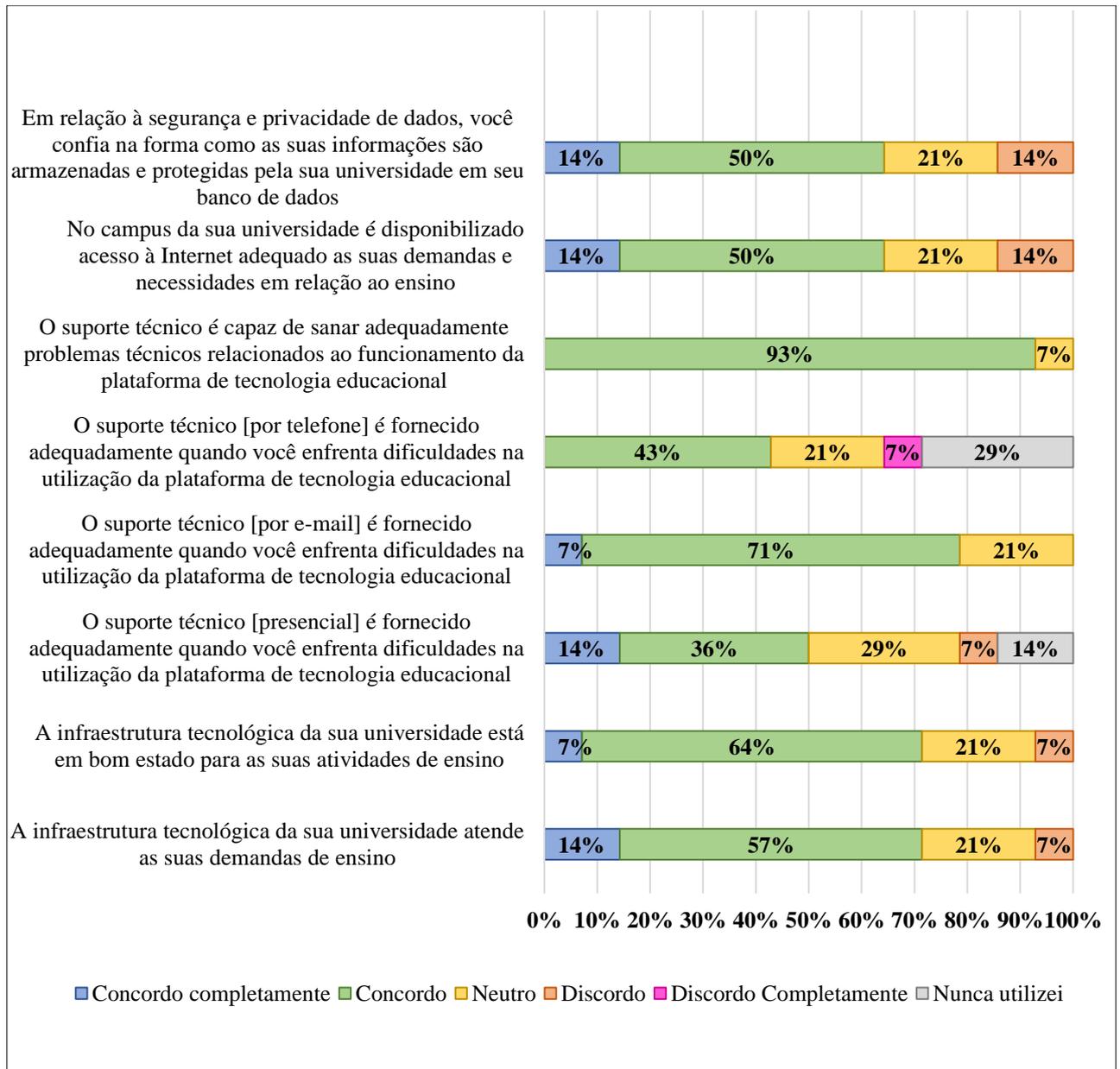


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Conforme apresentada na Figura 144, 71% dos respondentes concordam/concordam completamente que a plataforma de tecnologia educacional utilizada por eles pode ser melhorada para tornar-se mais intuitiva, robusta e personalizada. Além disso, 93% dos professores já utilizam tecnologias educacionais para engajar seus alunos com o conteúdo ensinado. Com base na experiência desses docentes, 93% concordam/concordam completamente que a utilização de tecnologias educacionais contribui para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem nos cursos de engenharia de produção.

Na Figura 15 estão apresentadas as respostas coletadas dos professores em relação às condições de infraestrutura e suporte técnico oferecido por sua universidade.

Figura 15 – Infraestrutura tecnológica e suporte técnico



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

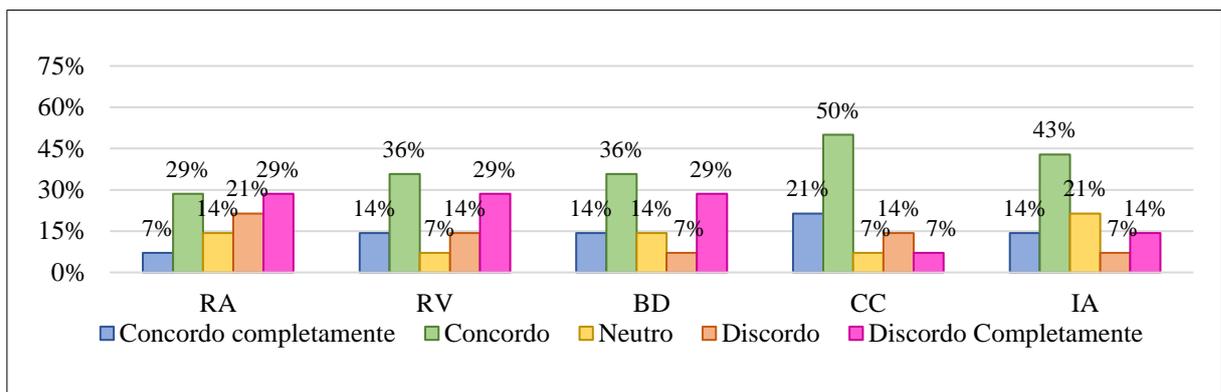
A maioria dos professores (64%) concordam/concordam completamente na forma como suas informações são armazenadas e protegidas nos bancos de dados da sua universidade. Os professores (64%) também concordam/concordam completamente que a disponibilização do acesso à Internet em seu campus é adequada, atendendo as suas demandas e necessidades em relação ao ensino.

Cabe destacar que, 93% dos professores concordam que o suporte técnico da sua universidade é capaz de sanar adequadamente problemas relacionados ao funcionamento da

plataforma de tecnologia educacional. Nesse sentido, a maioria dos professores que responderam à pesquisa concordam/concordam completamente que as formas de suporte técnico (presencial, telefone e e-mail) são fornecidas de forma adequada quando eles enfrentam dificuldades em relação a utilização da plataforma de tecnologia educacional. Além disso, 71% dos professores também concordam/concordam completamente que a infraestrutura tecnológica de sua universidade está em bom estado de funcionamento e atende a suas demandas.

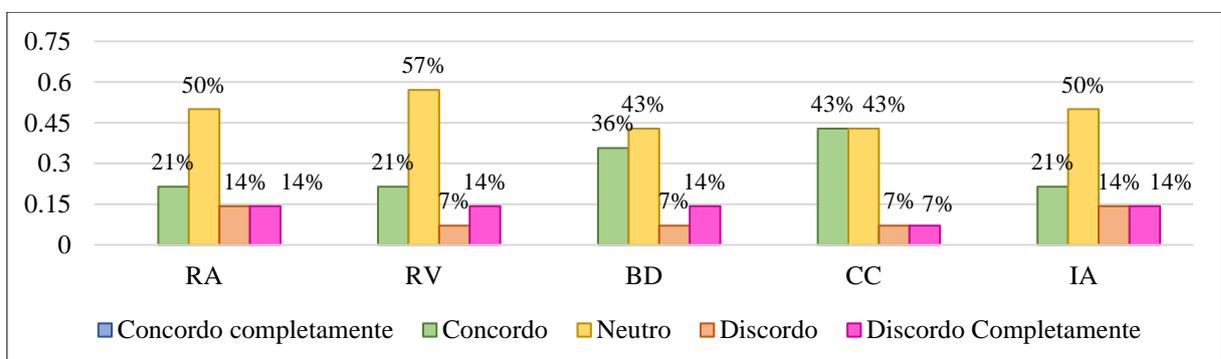
Na Figura 16, Figura 17 e Figura 18 estão apresentadas as respostas em relação as condições que viabilizam a utilização de tecnologias educacionais.

Figura 16 – Conhecimento necessário para empregar as tecnologias no processo de ensino-aprendizagem



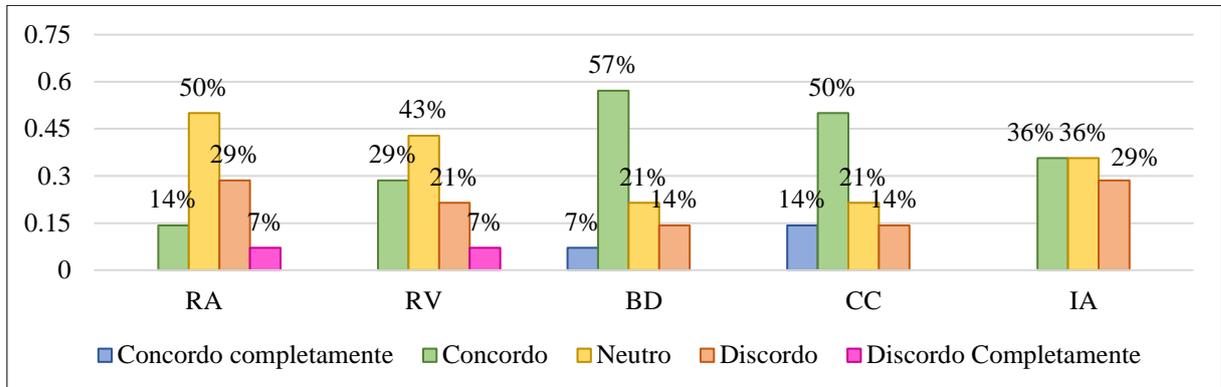
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 17 – Treinamento adequado para empregar e utilizar as tecnologias no processo de ensino-aprendizagem



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 18 – Recursos tecnológicos necessários para empregar as tecnologias no ensino de engenharia de produção

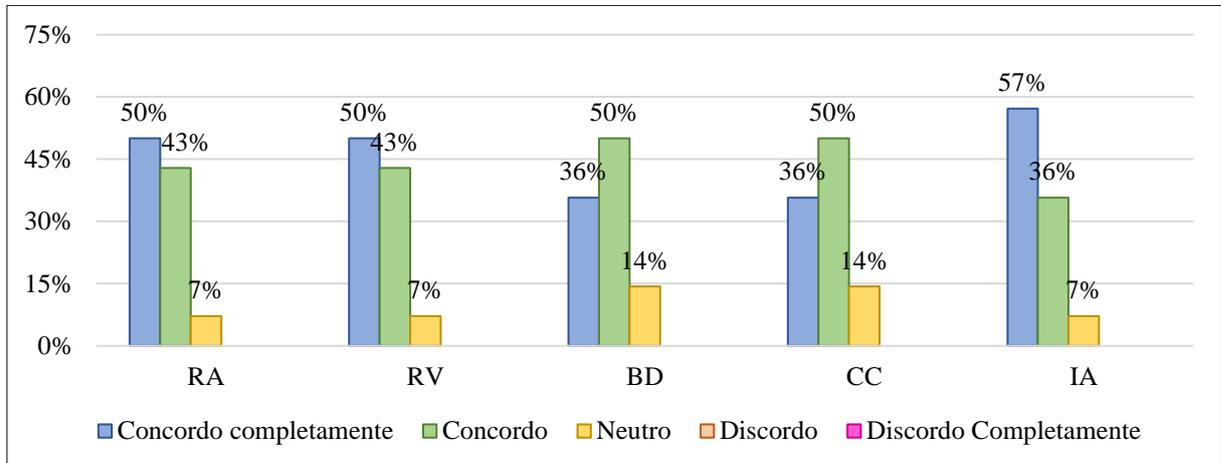


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

CC e IA são as tecnologias que os docentes acreditam ter mais conhecimento para empregá-las no ensino, conforme mostrado na Figura 16. Já RA, RV e BD são as tecnologias que os professores discordam/discordam completamente em ter conhecimento para utilizá-las no ensino. Em relação ao fornecimento de treinamento adequado para a utilização das tecnologias listadas, a maior parte dos professores mostraram-se neutros, conforme a Figura 17. Na Figura 18 estão apresentadas as tecnologias que os professores mais acreditam que suas universidades possuem recursos tecnológicos necessários para utilizá-las no ensino, são elas: BD e CC.

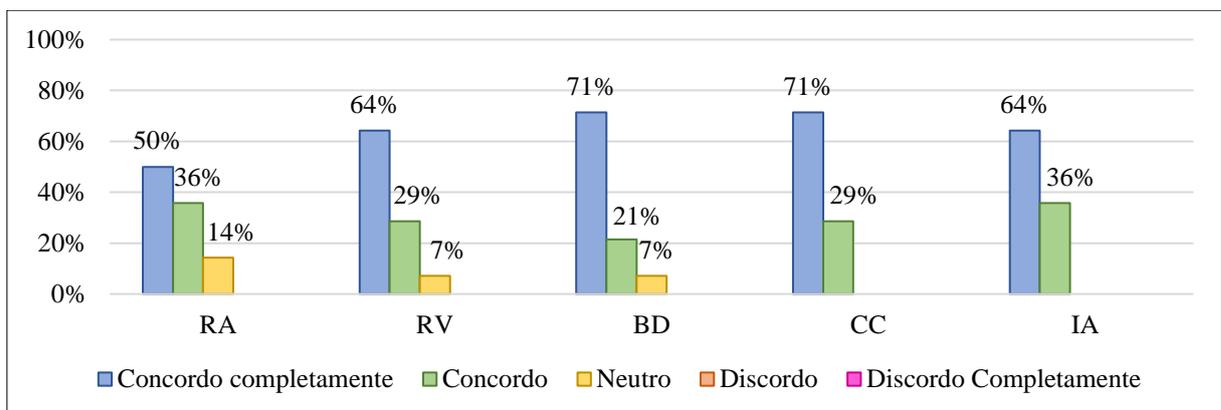
Na Figura 19 e Figura 20 são apresentadas as respostas dos professores em relação a utilização das tecnologias no ensino de engenharia de produção.

Figura 19 – Tecnologias da I4 que podem contribuir para a melhoria do ensino de engenharia de produção



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 20 – Tecnologias da I4 que tem potencial de aumentar o engajamento dos discentes com conteúdo ensinado

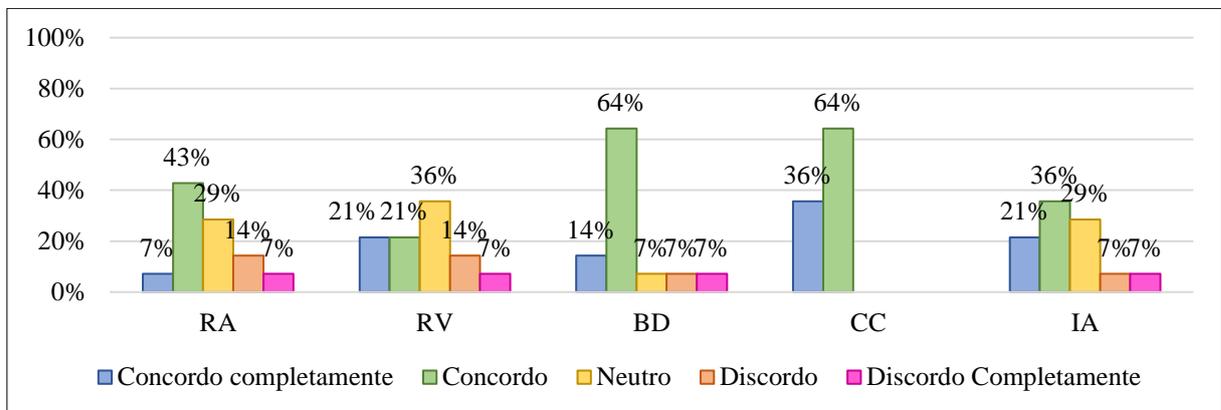


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Conforme mostrado na Figura 19, a maioria dos professores concordam/concordam completamente que a utilização das tecnologias RA, RV, BD, CC e IA pode contribuir para a melhoria do ensino de engenharia de produção. Além disso, a maioria dos professores que responderam à pesquisa concordam completamente que a utilização dessas tecnologias tem potencial de aumentar o engajamento dos alunos com o conteúdo ensinados nesses cursos, conforme mostrado na Figura 20.

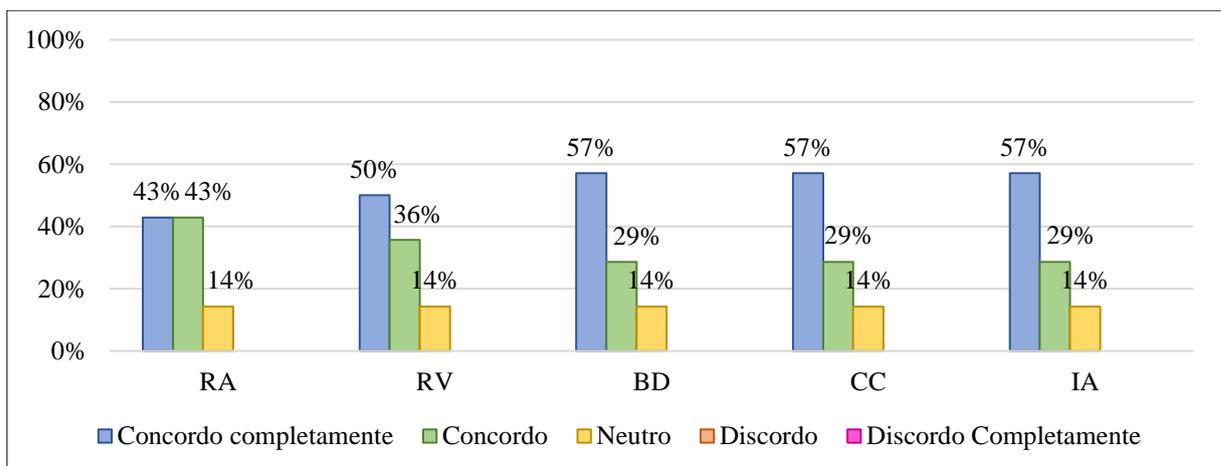
Na Figura 21 e Figura 22 são apresentadas as respostas nas quais foram investigadas a percepção dos professores em relação à viabilidade da utilização das tecnologias.

Figura 21 – Tecnologias da I4 que podem ser utilizadas sem muita complexidade no ensino de engenharia de produção



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 22 – Tecnologias da I4 que são factíveis de aplicação no ensino de engenharia de produção

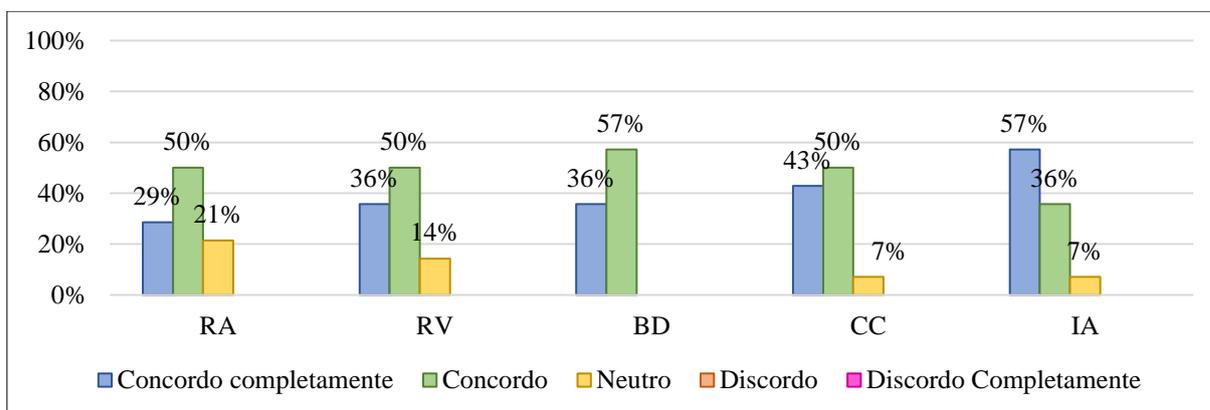


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Conforme mostrado na Figura 21, as tecnologias que podem ser empregadas mais facilmente nos cursos de engenharia de produção com base nas respostas dos professores são: CC (100%), BD (78%), IA (57%) e RA (50%). Além disso, a maioria dos professores também acreditam que todas as tecnologias são factíveis de serem aplicadas no processo de ensino-aprendizagem desses cursos, conforme Figura 22.

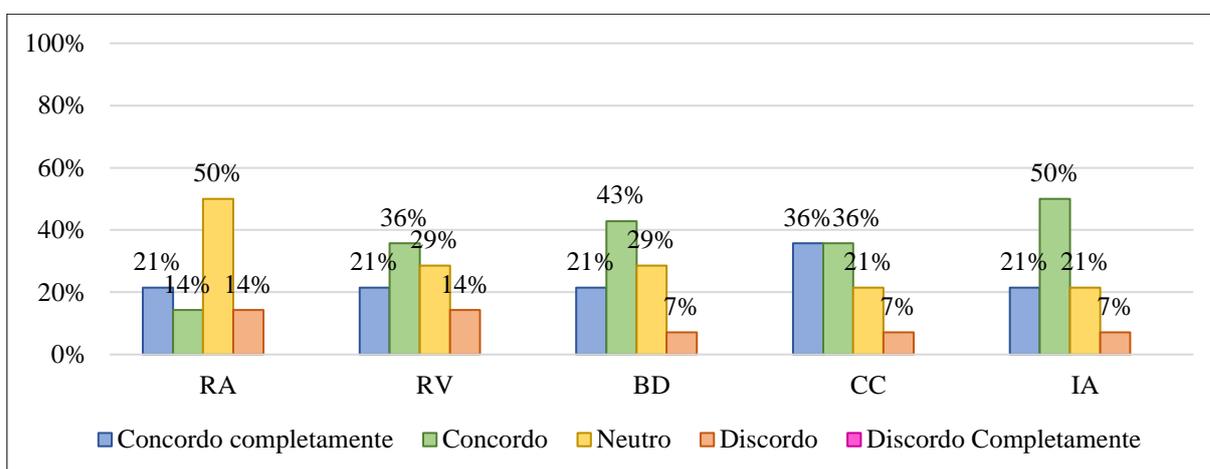
Na Figura 23 e Figura 24 são apresentadas as respostas em relação a adoção das tecnologias no ensino.

Figura 23 – Disposição para aprender a utilizar as tecnologias da I4 para o ensino



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 24 – Intenção de utilizar as tecnologias em suas aulas no curto ou médio prazo



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A maioria dos professores que responderam à pesquisa concordam ou concordam completamente em estarem dispostos a utilizar todas as tecnologias investigadas nesta pesquisa, como mostrado na Figura 23. Nesse sentido, as tecnologias CC (72%), IA (71%), BD (64%) e RV (57%) são as que os professores mais possuem intenção em suas aulas no curto ou médio prazo, conforme mostrado na Figura 24.

Ao final do questionário, os docentes tinham a opção de comentar quais seriam para eles, as principais dificuldades ou entraves para o uso das tecnologias citadas no questionário. Segundo as respostas, as duas maiores dificuldades estariam relacionadas a disponibilização das tecnologias pela universidade e o fornecimento de treinamentos adequados para sua utilização.

Além disso, foi disponibilizado também um campo de sugestões que viabilizem ou facilitem a integração das tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. Nesse sentido, os

docentes indicaram três pontos principais: a necessidade de incentivos e de fornecimento de formação continuada; demanda por investimentos e financiamentos governamentais; e contratação de professores com formação diversificada.

## 6.2 ANÁLISE DAS RESPOSTAS COLETADAS DE ALUNOS

As características relacionadas ao perfil dos professores que responderam à pesquisa são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características dos alunos respondentes

(continua)

| <b>Gênero</b>       | <b>Quant.</b> | <b>%</b>    |
|---------------------|---------------|-------------|
| Feminino            | 19            | 40%         |
| Masculino           | 28            | 60%         |
| <b>Total</b>        | <b>47</b>     | <b>100%</b> |
| <b>Universidade</b> |               |             |
| UFF                 | 16            | 34%         |
| UNESP               | 18            | 38%         |
| USP                 | 13            | 28%         |
| <b>Total</b>        | <b>47</b>     | <b>100%</b> |
| <b>Período</b>      |               |             |
| 1 ° Período         | 1             | 2%          |
| 2 ° Período         | 7             | 15%         |
| 3 ° Período         | 2             | 4%          |
| 4 ° Período         | 7             | 15%         |
| 5 ° Período         | 3             | 6%          |
| 6 ° Período         | 4             | 9%          |
| 7 ° Período         | 1             | 2%          |
| 8 ° Período         | 8             | 17%         |
| 9 ° Período         | 3             | 6%          |
| 10 ° Período        | 3             | 6%          |
| 11 ° Período        | 1             | 2%          |
| 12 ° Período        | 5             | 11%         |
| 13 ° Período        | 1             | 2%          |
| 14 ° Período        | 1             | 2%          |
| <b>Total</b>        | <b>47</b>     | <b>100%</b> |

Tabela 3 – Características dos alunos respondentes

(conclusão)

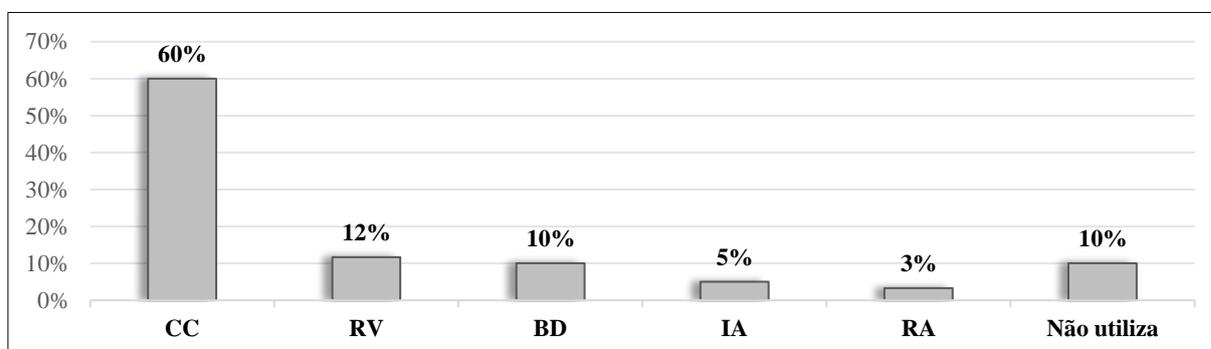
| <b>Idade</b> |           |             |
|--------------|-----------|-------------|
| 17           | 1         | 2%          |
| 18           | 4         | 9%          |
| 19           | 6         | 13%         |
| 20           | 3         | 6%          |
| 21           | 2         | 4%          |
| 22           | 6         | 13%         |
| 23           | 6         | 13%         |
| 24           | 7         | 15%         |
| 25           | 4         | 9%          |
| 26           | 1         | 2%          |
| 27           | 4         | 9%          |
| 30           | 1         | 2%          |
| 38           | 2         | 4%          |
| <b>Total</b> | <b>47</b> | <b>100%</b> |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os alunos que responderam à pesquisa são 60% do sexo masculino e 40% feminino. Os alunos são 38% da UNESP, 34% da UFF e 28% da USP. A maioria dos alunos estão respectivamente matriculados no 8º (17%), 4º (15%) e 2º (15%) período da graduação. Além disso, 75% dos alunos têm menos de 25 anos de idade.

Na Figura 25 – Tecnologias mais utilizadas pelos alunos estão apresentadas as tecnologias mais utilizadas pelos alunos que responderam à pesquisa.

Figura 25 – Tecnologias mais utilizadas pelos alunos

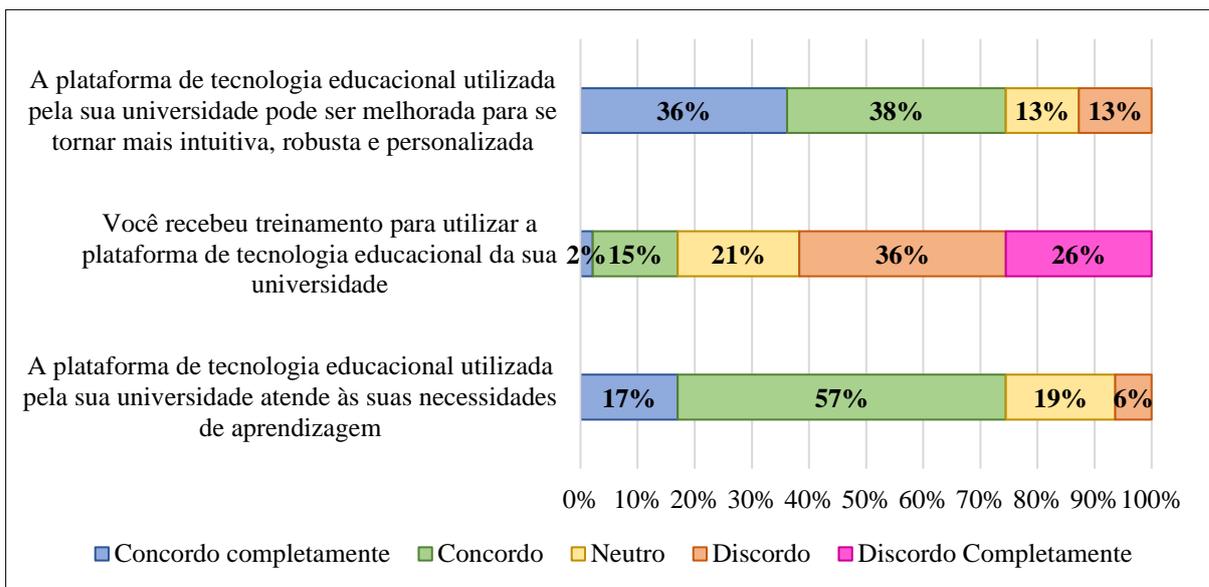


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As tecnologias mais utilizadas pelos alunos são CC (60%), RV (12%) e BD (10%), sendo que 10% não utilizam nenhuma das tecnologias listadas. Além disso, 70% afirmaram que sua universidade possui uma versão da plataforma educacional disponível para aplicativos móveis.

Na Figura 26 estão apresentadas as respostas relacionadas à plataforma de tecnologia educacional utilizada pelos alunos que responderam à pesquisa.

Figura 26 – Utilização da plataforma de tecnologia educacional

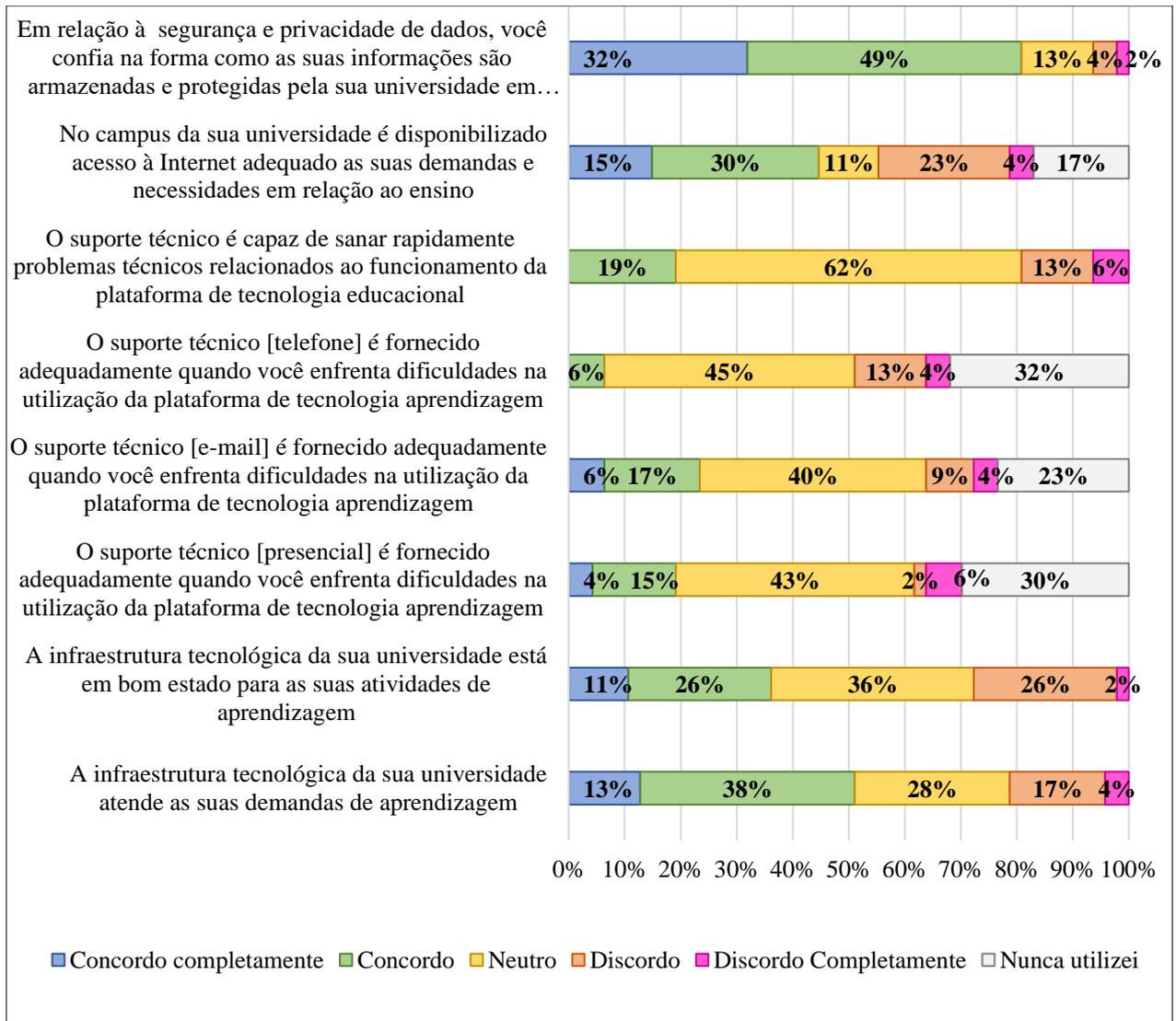


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A maioria dos alunos (74%) concordam/concordam completamente que a plataforma de tecnologia educacional utilizada por sua universidade pode ser melhorada para se tornar mais intuitiva, robusta e personalizada. Em relação ao treinamento, 62% discordam/discordam completamente que foram instruídos previamente para utilizarem a plataforma de tecnologia educacional da sua universidade. Além disso, 74% concordam/concordam completamente que a plataforma da sua universidade atende às suas necessidades de aprendizagem.

Na Figura 27 estão apresentadas as respostas dos alunos em relação a infraestrutura tecnológica e suporte técnico oferecidos por sua universidade.

Figura 27 – Infraestrutura tecnológica e suporte técnico



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

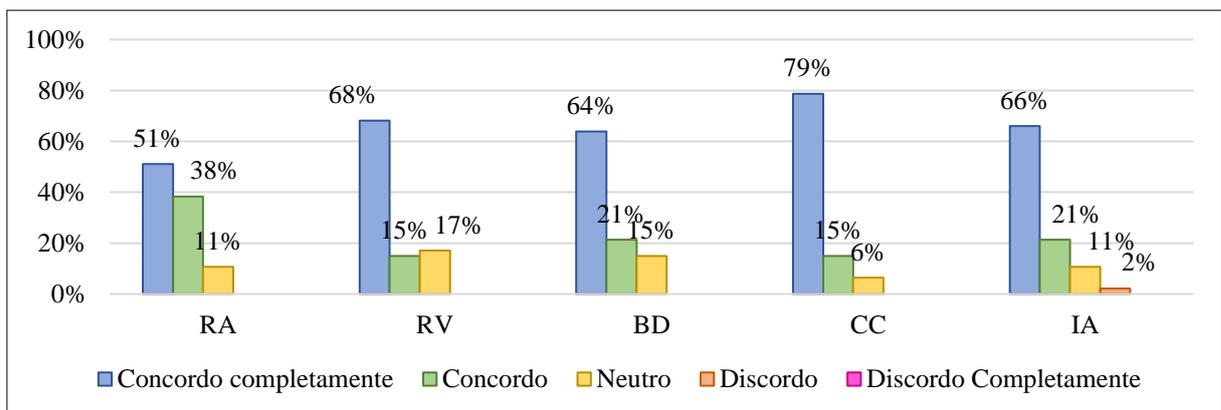
A maioria dos alunos (81%) concordam/concordam completamente na forma como suas informações são armazenadas e protegidas nos bancos de dados da sua universidade. Em relação disponibilização do acesso à Internet em seu campus, 45% dos alunos concordam/concordam completamente que é adequado, 27% discordam/discordam completamente, 11% mantiveram-se neutros e 17% nunca utilizaram.

Em relação ao suporte técnico, a maioria dos alunos mantiveram-se neutros em todas as questões. Cabe destacar também que muitos alunos nunca utilizaram o suporte técnico por meio de telefone (32%), e-mail (23%) e presencial (30%). Em relação a infraestrutura tecnológica da universidade, 27% concordam/concordam completamente que ela está em bom estado de funcionamento e 28% discordam/discordam completamente. Contudo, 51%

concordam/concordam completamente que a infraestrutura tecnológica da sua universidade atende às suas demandas de ensino, enquanto 21% discordam/discordam completamente.

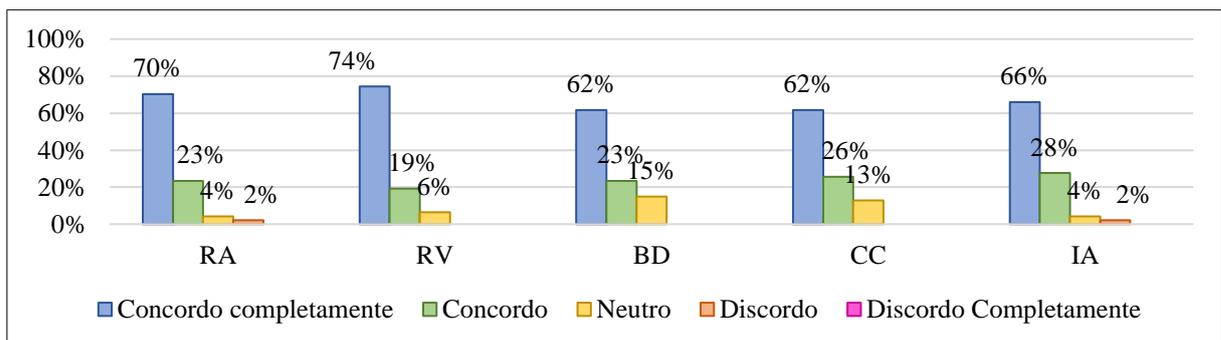
Na Figura 28 e Figura 29 são mostradas as respostas dos alunos em relação a utilização das tecnologias no ensino de engenharia de produção.

Figura 28 – Tecnologias da I4 que podem contribuir para a melhoria do aprendizado nos cursos de engenharia de produção



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 29 – Tecnologias da I4 que tem potencial de aumentar o engajamento com conteúdo ensinado

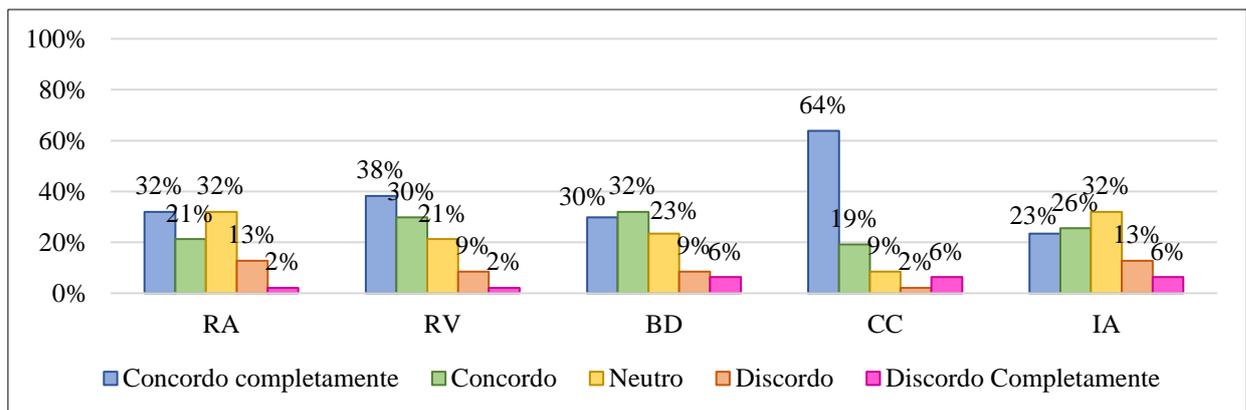


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

De acordo com as respostas dos alunos, as tecnologias que podem contribuir para a melhoria do aprendizado são CC (94%), RA (89%), BD (85%), RV (83%) e IA (66%). Além disso, a maioria dos alunos também concordam/concordam completamente que a utilização das tecnologias RV (96%), IA (94%), RA (93%), CC (88%) e BD (85%) no ensino pode aumentar o seu engajamento com conteúdo ensinado.

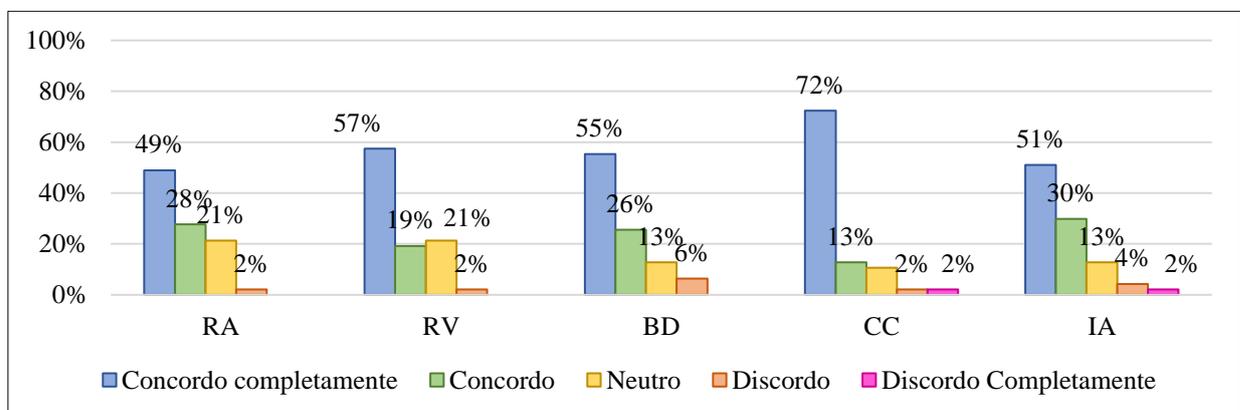
Na Figura 30 e Figura 31 são apresentadas as respostas dos alunos em relação à viabilidade da utilização das tecnologias no ensino.

Figura 30 – Tecnologias da I4 que podem ser utilizadas sem muita complexidade no ensino de engenharia de produção



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 31 – Tecnologias da I4 que são factíveis de aplicação no ensino de engenharia de produção

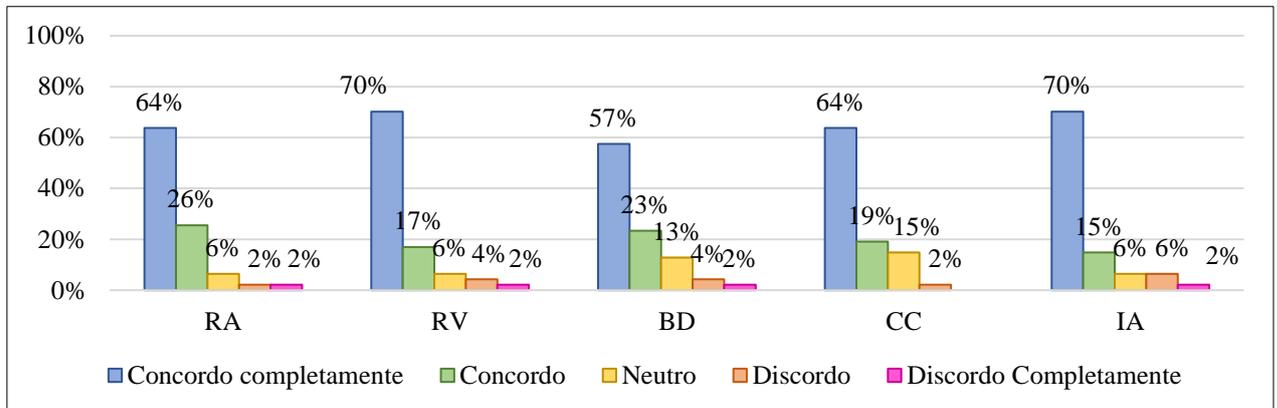


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Conforme mostrado na Figura 30, a principal tecnologia que pode ser empregada sem muita complexidade nos cursos de engenharia de produção com base nas respostas dos alunos é a CC (83%). De acordo com os alunos, as tecnologias CC (85%), IA (81%), BD (81%), RA (77%) e RV (76%) são factíveis de serem aplicadas no processo de ensino-aprendizagem desses cursos, conforme Figura 31.

Na Figura 32 são apresentadas as respostas em relação à demanda das tecnologias no ensino.

Figura 32 – Tecnologias que gostaria de utilizar nas suas aulas

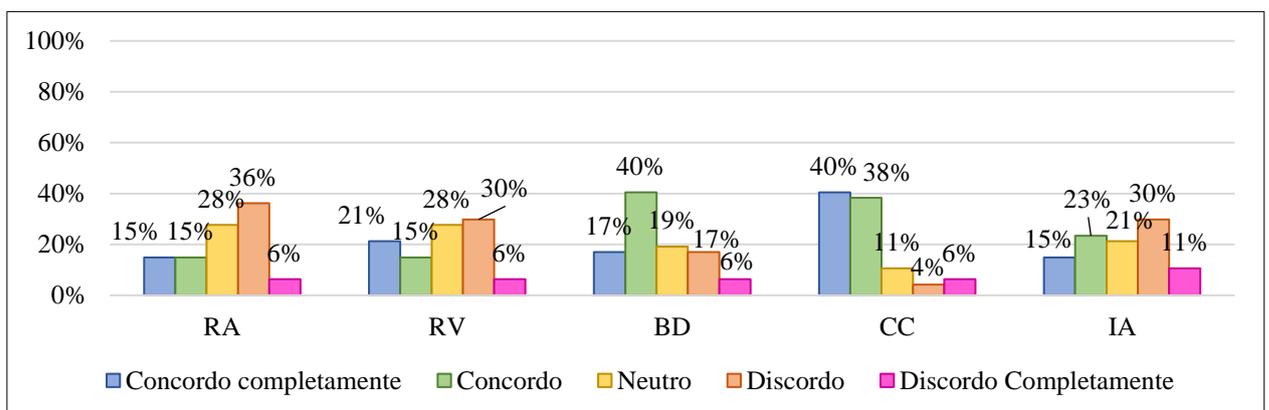


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Nota-se que os alunos gostariam de utilizar todas as tecnologias pesquisadas, sendo elas respectivamente: RA (90%), RV (88%), IA (86%), CC (83%) e BD (80%).

Na Figura 33 é apresentada a resposta dos alunos em relação a percepção deles quanto as habilidades dos professores para utilização das tecnologias no ensino.

Figura 33 – Os professores possuem habilidades suficientes para utilizar as tecnologias no processo de ensino-aprendizagem



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

De acordo com os alunos, a tecnologia que os professores teriam mais habilidades para utilizá-la é a CC (79%). Já as tecnologias que eles teriam menos habilidades são RA (43%), IA (40%) e RV (36%).

Ao final do questionário, os alunos também tinham um espaço para comentar sobre quais seriam para eles as principais dificuldades ou entraves na utilização dessas tecnologias no ensino. De acordo com as respostas desses alunos, as dificuldades são: falta de treinamento adequado para eles e para os professores; escassez de recursos financeiros; baixo engajamento dos professores em utilizá-las; e infraestrutura tecnológica (computadores e acesso à Internet). Os alunos também fizeram comentários sobre sugestões que poderiam facilitar ou viabilizar a integração dessas tecnologias no processo ensino-aprendizagem. Eles sugeriram a realização de parcerias com empresas terceiras para implementação das tecnologias, treinamentos e conscientização sobre a sua importância e utilização.

### 6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta subseção tem como objetivo analisar de forma concomitante as respostas dos professores e alunos em relação às suas demandas, necessidades e dificuldades no uso das tecnologias da I4 no processo de ensino-aprendizagem. Nesse sentido, 85% dos professores e 74% dos alunos concordam/concordam completamente que a atual plataforma de tecnologia educacional da sua universidade já atende às suas necessidades. Contudo, 71% dos professores e 74% dos alunos concordam/concordam completamente que as plataformas educacionais podem ser melhoradas para se tornarem mais robustas, intuitivas e personalizadas.

Por meio da análise das respostas aos questionários, foi identificado que a CC é a tecnologia mais utilizada pelos alunos (60%) e pelos professores (64%). Isso pode estar relacionado com o fato de que essa tecnologia facilita o processo de ensino-aprendizagem, possibilitando que alunos e professores compartilhem e acessem seus documentos facilmente (AL-EMRAN; ARPACI; SALLOUM, 2020; SHIAU; CHAU, 2016). Essa característica foi essencial durante a pandemia do Covid-19, pois possibilitou que os professores enviassem suas vídeos aulas, exercícios, apresentações, etc. para seus alunos (KHECHINE; RAYMOND; AUGIER, 2020).

A maioria dos alunos (70%) e professores (57%) indicaram que as suas universidades possuem uma plataforma educacional disponível para aplicativos móveis. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Romero-Rodriguez et al. (2020), no qual 73%

dos professores das 59 universidades espanholas analisadas também já estão utilizando aplicativos de tecnologia educacional (m-learning). Nesse sentido, a pandemia impulsionou o desenvolvimento das plataformas educacionais pelas universidades e contribuiu com o aumento da utilização de diferentes tecnologias no ensino (LUBURIĆ *et al.*, 2021; REVILLA-CUESTA *et al.*, 2021).

Nesta pesquisa também foram investigados fatores que influenciam diretamente na implementação e adoção das tecnologias no ensino, tais como, disponibilização de uma infraestrutura tecnológica adequada, acesso à Internet de qualidade, fornecimento de suporte técnico eficiente e privacidade e segurança de dados (ALTURKI; ALDRAIWEESH, 2022; ROMERO-RODRIGUEZ *et al.*, 2020; URMI; TAHER, 2021). Em relação a infraestrutura tecnológica, houve divergência entre as respostas coletadas, pois 71% dos professores concordam/concordam completamente que ela está em bom estado de funcionamento, mas apenas 37% dos alunos concordaram, 28% discordaram e 35% mantiveram-se neutros.

Em relação ao acesso à Internet, 64% dos professores e 45% dos alunos concordam/concordam completamente que é disponibilizado de forma adequada em suas universidades. Além disso, 17% dos alunos nunca utilizaram a Internet em sua universidade, isso pode estar relacionado com o fato de que alguns dos alunos que responderam à pesquisa ingressaram na graduação durante o período de suspensão das aulas presenciais devido a pandemia do Covid-19. Os alunos (81%) e professores (64%) também mostraram que confiam na forma como seus dados são armazenados nos bancos de dados das universidades. Em relação à capacidade do suporte técnico em sanar problemas, também foram encontrados valores divergentes, visto que 93% dos professores e apenas 19% dos alunos concordaram/concordam completamente com essa afirmação. Além disso, 30% dos alunos responderam que nunca utilizaram o suporte técnico de forma presencial. Cabe destacar mais uma vez que, esses dados podem estar relacionados com o fato de que quando esta pesquisa foi realizada (outubro de 2021), as aulas presenciais continuavam suspensas nas universidades investigadas devido a pandemia.

Esses fatores investigados são importantes e devem ser considerados na proposição do framework, pois como indicado no trabalho de Khechine, Raymond e Augier (2020), quanto mais os alunos e professores estarem conscientes da eficácia da infraestrutura tecnológica e do suporte técnico, mais propensos eles estarão a utilizar as tecnologias no ensino. Urmi e Taher (2021) destacaram que a confiança na tecnologia educacional impacta diretamente na sua adoção pelos professores e alunos. Portanto, esses fatores são essenciais para a implementação

das tecnologias, fazendo com que sua adoção seja bem-sucedida e proporcione benefícios para o processo de ensino-aprendizagem.

Em ambas as análises, a maioria dos alunos (83%) e professores (100%) concordam que a CC é a principal tecnologia que pode ser utilizada no processo de ensino-aprendizagem sem muita complexidade. Além disso, as tecnologias mais factíveis de serem aplicadas são BD, IA e CC, tanto para os alunos quanto para os professores. Essas características também são importantes e devem ser consideradas na proposição de tecnologias educacionais. O estudo de Al-Emran, Arpaci e Salloum (2020) identificou empiricamente que a percepção de facilidade no uso de uma nova tecnologia aumenta sua aceitação por alunos e professores, melhorando o desempenho acadêmico e contribuindo com o uso contínuo da aplicação educacional para dispositivo móvel.

Nas análises das respostas coletadas, os professores indicaram que eles teriam mais conhecimento para utilizar a CC e IA e menos experiência para utilizar RA, RV e BD. Para os alunos, os professores têm mais habilidades para utilizar a CC e menos habilidades para RA, RV e IA. O estudo Beardsley et al. (2021) indicou que após o início do ensino online durante a pandemia da Covid-19, os professores aumentaram a sua confiança e proficiência no uso de tecnologias digitais. Contudo, ainda há a necessidade de melhorar as habilidades e competências digitais dos professores por meio de treinamentos que os ajude em implementar as tecnologias de forma eficaz na educação (URMI; TAHER, 2021).

Os alunos e professores concordaram que as tecnologias que mais contribuem para a melhoria do ensino-aprendizagem são RA, RV, BD. Como mostrado no estudo de Anjos et al., (2020), as aplicações das tecnologias RA e RV estão aumentando significativamente nos cursos de engenharia de produção em diferentes disciplinas, tais como, física, mecânica dos fluídos, eletrônica, etc. No estudo de Alhalabi (2016), os resultados de desempenho dos alunos de engenharia com e sem o uso da RV foram comparados e o autor identificou que os alunos tiveram uma melhora significativa quando aprenderam com auxílio dessa tecnologia.

Para aumentar o engajamento dos discentes com o ensino, os professores e os alunos concordaram que as tecnologias CC e IA deveriam ser utilizadas. Conforme os resultados da pesquisa de Beardsley et al. (2021), os professores estão adotando, constantemente, as tecnologias para melhorar o engajamento dos alunos e a preparação dos conteúdos educativos. Chen, Chen e Lin (2020) realizaram uma revisão dos artigos que falam sobre IA e seus impactos no ensino. Eles concluíram que a IA contribui para melhorar o desempenho acadêmico e a qualidade da educação em diversos níveis educacionais.

Além disso, os alunos também indicaram que gostariam de utilizar principalmente as tecnologias RA (90%) e RV (88%) no processo de ensino-aprendizagem. A utilização da RA no ensino pode ser benéfica para o ensino de engenharia, contribuindo para melhorar a compreensão dos alunos sobre os conceitos teóricos e práticos, como mostrado no estudo de Opreș et al. (2018). No trabalho de Radianti et al. (2020), foi identificada uma crescente quantidade de estudos sobre as aplicações de RV no ensino superior, no entanto, ainda há a necessidade da realização de mais trabalhos científicos que proponham aplicações eficazes dessa tecnologia.

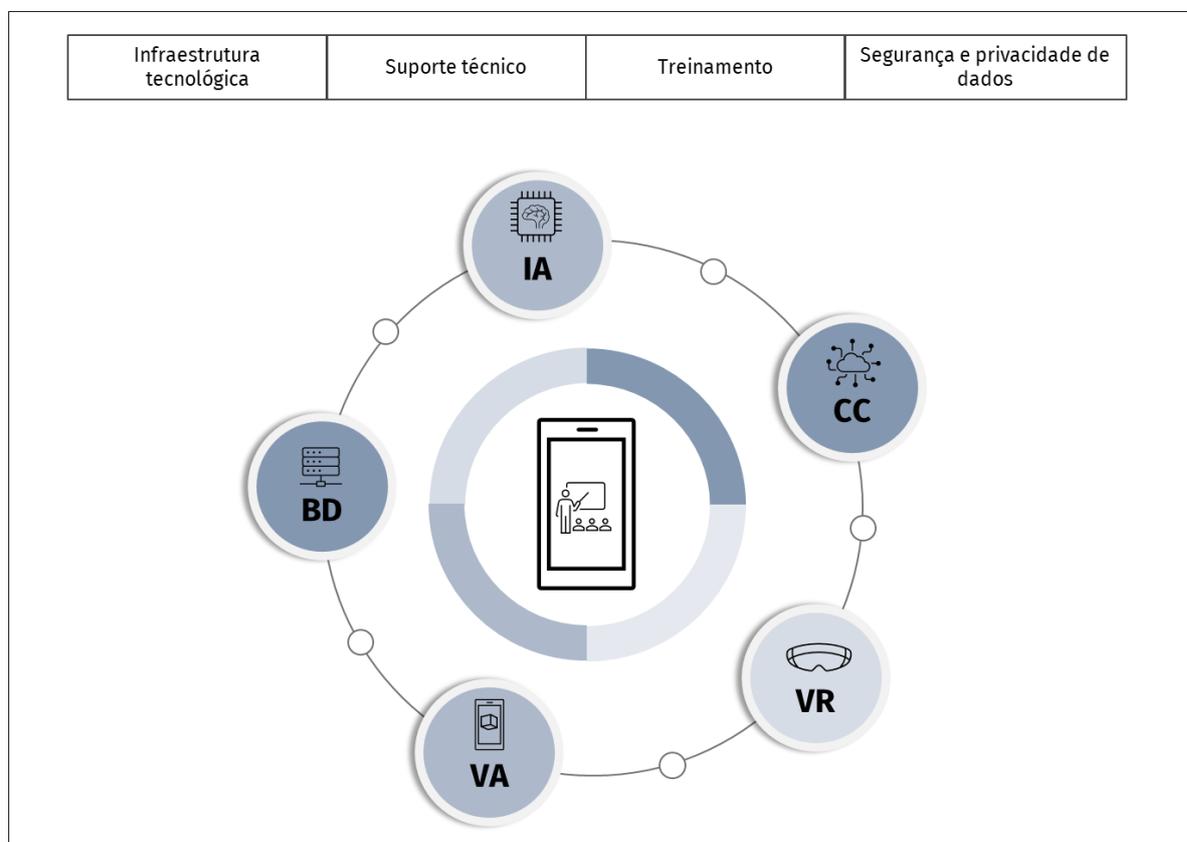
Por fim, nos comentários abertos, os alunos e professores indicaram que os principais desafios relacionados a integração dessas tecnologias no ensino seriam devido à falta de treinamento e investimentos. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Beardsley et al. (2021), no qual os professores também indicaram que a falta de treinamentos para a utilização das tecnologias é um dos principais entraves para sua adoção.

## 7 FRAMEWORK PARA SUPORTE AO ENSINO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO BASEADO NAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Nesta seção é apresentado o framework proposto com base nas principais tecnologias da I4 identificadas na literatura técnico-científica, nas empresas de EdTech e nas demandas dos professores e alunos quanto à utilização de tecnologias na educação. Ele é direcionado aos alunos de engenharia de produção e tem como objetivo sistematizar como as principais tecnologias identificadas podem contribuir com a melhoria da educação nesse curso. As tecnologias educacionais propostas e suas aplicações foram elaboradas com base nas informações coletadas durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Posteriormente, espera-se que os elementos propostos nesse framework possam ser operacionalizados e desenvolvido como aplicativo de dispositivos móveis e utilizado nos ambientes educacionais. Na Figura 34 está apresentado o framework.

Figura 34 – Framework para utilização das tecnologias da I4 no ensino de engenharia de produção



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A utilização das tecnologias propostas no framework visa potencializar o ensino presencial, apoiando os professores e melhorando o desempenho acadêmico dos alunos. A aplicação dessas tecnologias no ensino pode aumentar a motivação dos alunos e melhorar a assimilação de conceitos teóricos complexos (BOCA, 2021; REVILLA-CUESTA *et al.*, 2021).

A CC possibilita que os professores armazenem e compartilhem seus materiais com seus alunos. Ela também possibilita que os alunos trabalhem de forma colaborativa e em grupo, editando e participando na criação de arquivos de textos, planilhas, apresentações etc. Dessa forma, recomenda-se utilizar essa tecnologia para centralizar os arquivos e materiais disponibilizados pelos professores para os alunos, tais como, gravações de vídeos aulas, apostilas, laboratórios online, dentre outros. Com isso, os discentes poderão acessar esses documentos por meio de seus smartphones, tablets e computadores a qualquer momento e em qualquer lugar. Além disso, a utilização da CC possibilita que as universidades reduzam seus custos em hardware e TI, pagando apenas por serviços conforme a sua demanda de armazenamento de dados (AL-SAMARRAIE; SAEED, 2018; EL MHOUTI; ERRADI; NASSEH, 2018; SHIAU; CHAU, 2016).

A IA possibilita personalizar a aprendizagem e apoiar os professores no ensino. Para isso, recomenda-se utilizar a IA nos exercícios fornecidos para os alunos praticarem os conceitos aprendidos. Essa tecnologia deve ser utilizada para fornecer um plano de ensino personalizado com base em algoritmo inteligente para capturar e minerar dados da aprendizagem dos alunos em tempo real, identificando suas principais dificuldades e definindo suas prioridades de estudo acordo em disciplinas de baixo desempenho. Além disso, os assistentes virtuais inteligentes podem ser utilizados para sanar as dúvidas dos alunos nos ambientes de aprendizagem e pelos *chatbots*. Com isso, o processo de ensino-aprendizagem torna-se adaptativo, flexível e satisfatório, apoiando e complementando o papel dos professores no fornecimento de feedbacks personalizados aos seus alunos (CHEN, L.; CHEN; LIN, 2020; POPENICI; KERR, 2017; TERZOPOULOS; SATRATZEMI, 2020).

O BD permite melhorar o desempenho acadêmico dos alunos. Por meio dessa tecnologia, recomenda-se sua utilização para auxiliar professores no monitoramento dos alunos, identificando mais facilmente quem estão em riscos de reprovação ou evasão no curso. Com isso, os professores conseguem interferir a tempo nesses alunos. Para isso, é necessário analisar os padrões no desempenho dos alunos nos exercícios, avaliações e presenças nas aulas, disponibilizando relatórios gráficos que mensuram e avaliam esses dados para os professores (CHUNG; LEE, 2019; DANIEL, 2015; HUDA *et al.*, 2017).

A RV possibilita aumentar o engajamento dos alunos e melhorar a compreensão de conceitos complexos. Ela pode ser utilizada para simular conceitos práticos, que muitas vezes são difíceis de reproduzir nos laboratórios. Dessa forma, recomenda-se utilizar essa tecnologia para ensinar sobre conceitos teóricos e práticos de disciplinas como física, eletricidade e eletrônica. Com a RV, é possível simular ambientes de fabricação reais por meio da criação de laboratórios virtuais, que possibilitam uma experiência mais interativa e eficiente aos alunos (ALHALABI, 2016; JENSEN; KONRADSEN, 2018; SALAH *et al.*, 2019; SOLIMAN *et al.*, 2021).

A RA contribui para melhorar o desempenho acadêmico dos alunos, motivando-os com processo de ensino-aprendizagem. Por meio dessa tecnologia, é possível facilitar a compreensão de conceitos teóricos, tornando-os mais lúdicos. Dessa forma, recomenda-se utilizar a RA em disciplinas que envolvem a visualização de layouts e imagens industriais, permitindo que os alunos desenvolvam atividades práticas, combinando objetos virtuais em ambientes educacionais reais (AKÇAYIR *et al.*, 2016; BATISTA *et al.*, 2020; MD ENZAI *et al.*, 2021).

Essas tecnologias foram apresentadas separadamente, mas podem ser utilizadas em conjunto em único aplicativo, de forma a aumentar seus benefícios. Elas podem ser desenvolvidas e geridas por empresa terceira, contudo, as suas aplicações devem sempre considerar as demandas e necessidades dos alunos e professores. Além disso, questões como a privacidade e segurança de dados, a fornecimento de treinamentos e a disponibilização de infraestrutura tecnológica e suporte técnico devem ser considerados antes da implementação de qualquer tecnologia.

Esse framework é um modelo de como as tecnologias da I4 podem ser aplicadas no ensino para contribuir com a melhoria do processo ensino-aprendizagem. Essas tecnologias estão sendo cada vez mais integrada na educação, sobretudo, nos cursos de nível superior. Nesse sentido, nota-se a utilização das tecnologias da I4 contribui com a formação de profissionais mais bem qualificados para o ambiente de trabalho que encontrarão quando se formarem. Para isso, é necessário o planejamento adequado para que a aplicação dessas tecnologias seja eficiente e bem aceita, cumprindo os seus objetivos propostos (CAO, Y. *et al.*, 2022; SACKKEY; BESTER; ADAMS, 2017).

## 8 CONCLUSÃO

As revoluções industriais têm transformado a sociedade como um todo, impulsionando mudanças em diversas áreas além do setor industrial, tais como, na comunicação, saúde e educação. Na educação, diferentes abordagens pedagógicas e tecnologias têm sido utilizadas para melhorar o processo de ensino-aprendizagem e contribuir com a formação de profissionais mais qualificados. Nesse sentido, as tecnologias da I4 podem ser aplicadas de diferentes formas e em diferentes níveis educacionais. A utilização das tecnologias da I4 no ensino possui uma gama de possibilidades e sua aplicação deve ser proposta com base na demanda e necessidade de alunos e professores e, nos fatores que interferem em sua aceitação pelas partes interessadas.

Nesta pesquisa, as principais tecnologias da I4 foram identificadas, o cenário técnico-científico da E4 foi elaborado e as principais empresas de tecnologias educacionais foram mapeadas e analisadas. Além disso, foram elaborados dois questionários para identificação das demandas e oportunidades de aplicações das tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. Dessa forma, foi possível identificar como as tecnologias da I4 podem ser utilizadas para potencializar o ensino de engenharia de produção. O framework proposto visa a melhoria do processo ensino-aprendizagem, tornando-o mais interativo e personalizado por meio da utilização das tecnologias da I4.

A principal contribuição teórica-científica deste trabalho é a criação de um novo bloco de conhecimento que aprofunda e estende a literatura existente, acrescentando boas práticas, desafios e oportunidades identificados para aplicação das principais tecnologias da I4 na educação. Dessa forma, este trabalho poderá subsidiar novas pesquisas sobre o tema a partir dos desafios e oportunidades científicas identificadas e do framework proposto.

A principal contribuição aplicada deste trabalho é possibilitar a modernização do processo ensino-aprendizagem e melhoria da capacitação dos profissionais demandados pela I4. Para isso, o framework foi proposto visando aumentar o engajamento e a motivação dos alunos com o conteúdo ensinado por meio da integração das tecnologias da I4 ao ensino. Além disso, o desenvolvimento do aplicativo proposto pelo framework pode contribuir para o desenvolvimento das habilidades digitais dos alunos, aumentando seu conhecimento sobre as principais tecnologias da I4.

Embora os países de destaque técnico e científico tenham sido estudados, as principais empresas de tecnologias tenham sido mapeadas e os questionários aplicados, os resultados deste artigo estão limitados às experiências analisadas e aos critérios de pesquisa utilizados. Obviamente, caso outras bases de dados e uma amostra maior fossem consideradas, mais

tecnologias e aplicações relevantes poderiam ser identificadas para subsidiar a elaboração do framework proposto.

Dessa forma, propõe-se que estudos futuros utilizem diferentes critérios de pesquisa e base de dados para a identificação de outras tecnologias e aplicações educacionais que possam ser acrescentadas ao framework. Estudos futuros podem utilizar modelos estatísticos como a modelagem de equações estruturais para analisar a aceitação e adoção de tecnologias educacionais em amostras maiores de professores e alunos. Além disso, estudos empíricos podem ser realizados a partir da aplicação das tecnologias no ensino, mensurando as melhorias proporcionadas no desempenho acadêmico dos alunos e identificando seus benefícios, boas práticas e dificuldades.

## REFERÊNCIAS

- AB RAHMAN, Rafidah; AHMAD, Sabrina; HASHIM, Umami Rabaah. A study on gamification for higher education students' engagement towards education 4.0. *In: PIURI, V. et al. (ed.). Intelligent and Interactive Computing: lecture notes in networks and systems.* Singapore: Springer, 2019. v. 67, p. 491–502. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6031-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6031-2_5). Acesso em: 4 maio 2021.
- ABDULLAH, Fazil; WARD, Rupert; AHMED, Ejaz. Investigating the influence of the most commonly used external variables of TAM on students' Perceived Ease of Use (PEOU) and Perceived Usefulness (PU) of e-portfolios. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 63, p. 75–90, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.014>. Acesso em: 4 maio 2021.
- AHN, H.-S.; CHOI, Y.-M. The development and application of the augmented reality based steam education program: based on the inquiry learning model. **International Journal of Applied Engineering Research**, New Delhi, v. 10, n. 10, p. 27243–27354, 2015.
- AHN, H.-S.; CHOI, Y.-M. Utilizing augmented reality for creative writing educational contents and story-retelling. **International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering**, Sandy Bay, v. 11, n. 12, p. 71–82, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14257/ijmue.2016.11.12.07>. Acesso em: 4 maio 2021.
- AKBULUT, Akhan; CATAL, Cagatay; YILDIZ, Burak. On the effectiveness of virtual reality in the education of software engineering. **Computer Applications in Engineering Education**, Hoboken, v. 26, n. 4, p. 918–927, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cae.21935>. Acesso em: 4 maio 2021.
- AKÇAYIR, Murat *et al.* Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 57, p. 334–342, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>. Acesso em: 4 maio 2021.
- AKÇAYIR, Murat; AKÇAYIR, Gökçe. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. **Educational Research Review**, Amsterdam, v. 20, p. 1–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>. Acesso em: 4 maio 2021.
- AL-ADWAN, Ahmad Samed. Investigating the drivers and barriers to MOOCs adoption: The perspective of TAM. **Education and Information Technologies**, New York, v. 25, n. 6, p. 5771–5795, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10250-z>. Acesso em: 8 set. 2021.
- AL-EMRAN, Mostafa; ARPACI, Ibrahim; SALLOUM, Said A. An empirical examination of continuous intention to use m-learning: An integrated model. **Education and Information Technologies**, New York, v. 25, n. 4, p. 2899–2918, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10094-2>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- AL-EMRAN, Mostafa; ELSHERIF, Hatem M.; SHAALAN, Khaled. Investigating attitudes

towards the use of mobile learning in higher education. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 56, p. 93–102, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.11.033>

AL-EMRAN, Mostafa; MEZHUYEV, Vitaliy; KAMALUDIN, Adzhar. Technology acceptance model in m-learning context: A systematic review. **Computers and Education**, Oxford, v. 125, p. 389–412, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.008>. Acesso em: 4 maio 2021.

AL-RAHMI, Waleed Mugahed *et al.* Big data adoption and knowledge management sharing: an empirical investigation on their adoption and sustainability as a purpose of education. **IEEE Access**, Piscataway, v. 7, p. 47245–47258, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2906668>. Acesso em: 4 maio 2021.

AL-SAMARRAIE, Hosam; SAEED, Noria. A systematic review of cloud computing tools for collaborative learning: Opportunities and challenges to the blended-learning environment. **Computers & Education**, Oxford, v. 124, p. 77–91, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.016>. Acesso em: 31 jan. 2022.

ALENEZI, Ahmed. Checking on preferential choices of e-learning & mlearning: A case study of Northern Border University, Saudi Arabia. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, Wien, v. 12, n. 5, p. 98–116, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i05.6790>. Acesso em: 4 maio 2021.

ALHALABI, Wadee S. Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. **Behaviour and Information Technology**, Abingdon, v. 35, n. 11, p. 919–925, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0144929x.2016.1212931>. Acesso em: 4 maio 2021.

ALIAÑO, Ángel Mojarro *et al.* Mobile learning in university contexts based on the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). **Journal of New Approaches in Educational Research**, Alicante, v. 8, n. 1, p. 7–17, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7821/naer.2019.1.317>. Acesso em: 10 set. 2021.

ALMEIDA, Fernando; SIMOES, Jorge. The role of serious games, gamification and industry 4.0 tools in the education 4.0 paradigm. **Contemporary Educational Technology**, London, v. 10, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.30935/cet.554469>. Acesso em: 4 maio 2021.

ALMOHAMMADI, Khalid *et al.* A survey of artificial intelligence techniques employed for adaptive educational systems within e-learning platforms. **Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research**, Warsaw, v. 7, n. 1, p. 47–64, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/jaiscr-2017-0004>. Acesso em: 4 maio 2021.

ALTURKI, Uthman; ALDRAIWEESH, Ahmed. Students' perceptions of the actual use of mobile learning during COVID-19 pandemic in higher education. **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 3, p. 1125, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14031125>. Acesso em: 26 jan. 2022.

ALVARENGA, Ana Beatriz Cardoso de Sousa *et al.* The main perspectives of the quality of life of students in the secondary cycle: an overview of the opportunities, challenges and their greatest impact elements. **International Journal for Quality Research**, Kragujevac, v. 15, n.

3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.24874/ijqr15.03-19>. Acesso em: 4 maio 2021.

ANJOS, Fernando Elemar Vicente *et al.* Virtual and augmented reality application in production engineering teaching-learning processes. **Production**, São Paulo, v. 30, p. 1–16, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190088>. Acesso em: 25 jan. 2022.

ARPACI, Ibrahim. Antecedents and consequences of cloud computing adoption in education to achieve knowledge management. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 70, p. 382–390, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.024>. Acesso em: 4 maio 2021

ASAMOAHA, Moses Kumi. ICT officials' opinion on deploying open source learning management system for teaching and learning in universities in a developing society. **E-Learning and Digital Media**, London, v. 18, n. 1, p. 18–38, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2042753020946280>. Acesso em: 15 abr. 2021.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **China's education modernisation plan towards 2035**. Canberra, 2020. Disponível em: <https://internationaleducation.gov.au/International-network/china/PolicyUpdates-China/Pages/China's-education-modernisation-plan-towards-2035-.aspx>. Acesso em: 20 nov. 2020.

BARBER, S.R. *et al.* Combining stereoscopic video and virtual reality simulation to maximize education in lateral skull base surgery. **Otolaryngology - Head and Neck Surgery (United States)**, Thousand Oaks, v. 162, n. 6, p. 922–925, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0194599820907866>. Acesso em: 4 maio 2021.

BASTUG, Ejder *et al.* Toward interconnected virtual reality: opportunities, challenges, and enablers. **IEEE Communications Magazine**, Piscataway, v. 55, n. 6, p. 110–117, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/mcom.2017.1601089>. Acesso em: 19 ago. 2021.

BATISTA, Alex Fernando *et al.* Using technologies as virtual environments for computer teaching: A systematic review. **Informatics in Education**, Vilnius, v. 19, n. 2, p. 201–221, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15388/infedu.2020.10>. Acesso em: 4 dez. 2020.

BEARDSLEY, Marc *et al.* Emergency education effects on teacher abilities and motivation to use digital technologies. **British Journal of Educational Technology**, Chichester, v. 52, n. 4, p. 1455–1477, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bjet.13101>. Acesso em: 24 jan. 2022.

BENEŠOVÁ, Andrea; TUPA, Jiří. Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 11, n. June, p. 2195–2202, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.366>. Acesso em: 4 dez. 2020.

BENIS, Arriel; NELKE, Sofia Amador; WINOKUR, Michael. Training the next industrial engineers and managers about Industry 4.0: a case study about challenges and opportunities in the COVID-19 Era. **Sensors**, Basel, v. 21, n. 9, p. 2905, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21092905>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BOCA, Gratiela Dana. Factors Influencing students' behavior and attitude towards online education during COVID-19. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 13, p. 7469, 2021. Disponível

em: <https://doi.org/10.3390/su13137469>. Acesso em: 25 jan. 2022.

BONFIELD, Christopher Alan *et al.* Transformation or evolution?: Education 4.0, teaching and learning in the digital age. **Higher Education Pedagogies**, Abingdon, v. 5, n. 1, p. 223–246, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23752696.2020.1816847>

BUASUWAN, Prompilai. Rethinking Thai higher education for Thailand 4.0. **Asian Education and Development Studies**, Bingley, v. 7, n. 2, p. 157–173, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/aeds-07-2017-0072>. Acesso em: 4 dez. 2020.

BURCH, Patricia; MIGLANI, Neha. Technocentrism and social fields in the Indian edtech movement: formation, reproduction and resistance. **Journal of Education Policy**, Abingdon, v. 33, n. 5, p. 590–616, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02680939.2018.1435909>. Acesso em: 4 dez. 2020.

BURNS, Tracey; GOTTSCHALK, Francesca (org.). **Education in the digital age**. Paris: OECD, 2020. (Educational Research and Innovation). Disponível em: <https://doi.org/10.1787/1209166a-en>. Acesso em: 29 abr. 2021.

BUYURGAN, Nebil; KIASSAT, Corey. Developing a new industrial engineering curriculum using a systems engineering approach. **European Journal of Engineering Education**, Abingdon, v. 42, n. 6, p. 1263–1276, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1287665>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CABERO-ALMENARA, Julio; FERNÁNDEZ-BATANERO, José María; BARROSO-OSUNA, Julio. Adoption of augmented reality technology by university students. **Heliyon**, London, v. 5, n. 5, p. e01597, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01597>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CAI, Su *et al.* Effects of learning physics using Augmented Reality on students' self-efficacy and conceptions of learning. **British Journal of Educational Technology**, Chichester, v. 0, n. 0, p. 1–17, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bjet.13020>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CAI, Su *et al.* Probability learning in mathematics using augmented reality: impact on student's learning gains and attitudes. **Interactive Learning Environments**, Abingdon, v. 28, n. 5, p. 560–573, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1696839>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CAMP. **Objectives**. Baltimore, 2014. Disponível em: <https://camp.lcsr.jhu.edu/research/>. Acesso em: 28 out. 2020.

CAO, Wei *et al.* Artificial intelligence based efficient smart learning framework for education platform. **Inteligencia Artificial**, Valencia, v. 23, n. 66, p. 112–123, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4114/intartif.vol23iss66pp112-123>. Acesso em: 15 abr. 2021.

CAO, Yan *et al.* Appraisal of information and communications technologies on the teaching process by neuro fuzzy logic. **Computer Applications in Engineering Education**, Hoboken, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cae.22486>. Acesso em: 24 jan. 2022.

CAPONETTO, Ilaria; EARP, Jeffrey; OTT, Michela. Gamification and education : a literature

review. **Proceedings of the European Conference on Games-based Learning**, [s. l.], v. 1, p. 50–57, 2014.

CHANG, Ching Yi *et al.* Effects of spherical video-based virtual reality on nursing students' learning performance in childbirth education training. **Interactive Learning Environments**, Abingdon, v. 0, n. 0, p. 1–17, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1661854>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CHANG, Kuo En *et al.* Applying augmented reality in physical education on motor skills learning. **Interactive Learning Environments**, Abingdon, v. 28, n. 6, p. 685–697, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1636073>. Acesso em: 4 dez. 2021.

CHANG, Shao Chen; HWANG, Gwo Jen. Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions. **Computers and Education**, Oxford, v. 125, n. June, p. 226–239, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.007>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CHANG, Yuh Shihng *et al.* Applying mobile augmented reality (AR) to teach interior design students in layout plans: evaluation of learning effectiveness based on the ARCS model of learning motivation theory. **Sensors**, Basel, v. 20, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20010105>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CHATTERJEE, Sheshadri; BHATTACHARJEE, Kalyan Kumar. Adoption of artificial intelligence in higher education: a quantitative analysis using structural equation modelling. **Education and Information Technologies**, New York, v. 25, n. 5, p. 3443–3463, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10159-7>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CHATZOPOULOS, Dimitris *et al.* Mobile augmented reality survey: from where we are to where we go. **IEEE Access**, Piscataway, v. 5, p. 6917–6950, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/access.2017.2698164>. Acesso em: 19 ago. 2021.

CHEN, Baotong *et al.* Smart Factory of Industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges. **IEEE Access**, Piscataway, v. 6, p. 6505–6519, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/access.2017.2783682>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CHEN, Lijia; CHEN, Pingping; LIN, Zhijian. Artificial intelligence in education: a review. **IEEE Access**, Piscataway, v. 8, p. 75264–75278, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2988510>. Acesso em: 25 jan. 2022.

CHONG, Siewhui *et al.* Integration of 3D printing and industry 4.0 into engineering teaching. **Sustainability**, Basel, v. 10, n. 11, p. 3960, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10113960>. Acesso em: 17 jun. 2021.

CHRIST, Roxie *et al.* Proof of concept of a workflow methodology for the creation of basic canine head anatomy veterinary education tool using augmented reality. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 13, n. 4, p. 1–16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195866>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CHUNG, Jae Young; LEE, Sunbok. Dropout early warning systems for high school students using machine learning. **Children and Youth Services Review**, Oxford, v. 96, p. 346–353,

2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2018.11.030>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CIOLACU, Monica *et al.* Education 4.0 — Fostering student's performance with machine learning methods. **2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)**. Piscataway: IEEE, 2017. p. 438–443. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/siitme.2017.8259941>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CIPRESSO, Pietro *et al.* The past, present, and future of virtual and augmented reality research: a network and cluster analysis of the literature. **Frontiers in Psychology**, Lausanne, v. 9, n. nov, p. 2086, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02086>. Acesso em: 19 ago. 2021.

COPE, Bill; KALANTZIS, Mary. Interpreting evidence-of-learning: educational research in the era of big data. **Open Review of Educational Research**, Abingdon, v. 2, n. 1, p. 218–239, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23265507.2015.1074870>. Acesso em: 4 dez. 2020.

COSME, Nuno *et al.* Learning-by-doing: experience from 20 years of teaching LCA to future engineers. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Heidelberg, v. 24, n. 3, p. 553–565, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1457-5>. Acesso em: 27 jul. 2021.

COSTA, Ana Carolina Ferreira; SANTOS, Vitor Homem de Mello; OLIVEIRA, Otávio José. Towards the revolution and democratization of education: a framework to overcome challenges and explore opportunities through Industry 4.0. **Informatics in Education**, Vilnius, v. 21, n. 1, p. 1–32, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15388/infedu.2022.01>. Acesso em: 4 jan. 2022.

CROMPTON, Helen; BURKE, Diane. The use of mobile learning in higher education: a systematic review. **Computers and Education**, Oxford, v. 123, p. 53–64, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.04.007>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CRONIN, Patricia; RYAN, Frances; COUGHLAN, Michael. Undertaking a literature review: a step-by-step approach. **British Journal of Nursing**, London, v. 17, n. 1, p. 38–43, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.12968/bjon.2008.17.1.28059>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CRUNCHBASE. **About Crunchbase | Crunchbase**. San Francisco, 2021. Disponível em: <https://about.crunchbase.com/about-us/>. Acesso em: 16 jun. 2021.

CSU. **Mosaic**. Long Beach, 2019. Disponível em: <https://biz.colostate.edu/resources/classroom-experience/mosaic>. Acesso em: 28 out. 2020.

REIS, José Salvador da Motta *et al.* Education 4.0: gaps research between school formation and technological development. *In: ADVANCES IN INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTING*, 2020. **Proceedings [...]**. Heidelberg: Springer, 2020. v. 1134, p. 415–420. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43020-7\\_55](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43020-7_55). Acesso em: 1 fev. 2021.

DALENOGARE, Lucas Santos *et al.* The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v.

204, n. July, p. 383–394, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>. Acesso em: 4 dez. 2020.

DANIEL, Ben. Big Data and analytics in higher education: opportunities and challenges. **British Journal of Educational Technology**, Chichester, v. 46, n. 5, p. 904–920, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bjet.12230>. Acesso em: 4 dez. 2020.

DAVIS, Fred D. **A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems : theory and results**. Advisor: John C. Henderson. 1986. Thesis - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1986. Disponível em: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/15192>. Acesso em: 7 set. 2021.

DEČMAN, Mitja. Modeling the acceptance of e-learning in mandatory environments of higher education: the influence of previous education and gender. **Computers in Human Behavior**, Oxford, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.03.022>. Acesso em: 4 dez. 2020.

DIAO, Pei Huang; SHIH, Naai Jung. Trends and research issues of augmented reality studies in architectural and civil engineering education-A review of academic journal publications. **Applied Sciences**, Basel, v. 9, n. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app9091840>. Acesso em: 4 dez. 2020.

DISTRITO. **Distrito edtech report**. [S. l.], 2020. Disponível em: [https://materiais.distrito.me/hubfs/cms\\_files\\_65883\\_1608553787edtech\\_report\\_2020\\_v8.pdf?hslang=pt-br](https://materiais.distrito.me/hubfs/cms_files_65883_1608553787edtech_report_2020_v8.pdf?hslang=pt-br). Acesso em: 5 maio 2021.

DUNCUM, Paul. Responding to big data in the art education classroom: affordances and problematics. **International Journal of Art and Design Education**, Chichester, v. 37, n. 2, p. 325–332, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jade.12129>. Acesso em: 4 dez. 2020.

EEL - USP. **USP**. Lorena, 2020. Disponível em: [https://jornal.usp.br/wp-content/uploads/2019/06/tabela\\_vagas\\_fuvest.pdf](https://jornal.usp.br/wp-content/uploads/2019/06/tabela_vagas_fuvest.pdf). Acesso em: 15 set. 2021.

EL MHOUDI, Abderrahim; ERRADI, Mohamed; NASSEH, Azeddine. Using cloud computing services in e-learning process: benefits and challenges. **Education and Information Technologies**, New York, v. 23, n. 2, p. 893–909, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9642-x>. Acesso em: 31 jan. 2022.

FAT - UERJ. **UERJ – Resende**. Resende, 2021. Disponível em: <https://www.fat.uerj.br/denp/>. Acesso em: 15 set. 2021.

FIDAN, Mustafa; TUNCEL, Meric. Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education. **Computers & Education**, Oxford, v. 142, p. 103635, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103635>. Acesso em: 4 dez. 2020.

FISCHER, Christian *et al.* Mining big data in education: affordances and challenges. **Review of Research in Education**, Thousand Oaks, v. 44, n. 1, p. 130–160, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3102/0091732x20903304>. Acesso em: 14 abr. 2021.

FLOGIE, Andrej; LAKOTA, Andreja Barle; ABERŠEK, Boris. The psychosocial and cognitive influence of ICT on competences of STEM students. **Journal of Baltic Science Education**, Siauliai, v. 17, n. 2, p. 267–276, 2018.

FOX, Stephen. Active Inference: Applicability to different types of social organization explained through reference to industrial engineering and quality management. **Entropy**, Basel, v. 23, n. 2, p. 198, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/e23020198>. Acesso em: 31 jan. 2022.

FRAGA-LAMAS, Paula *et al.* A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. **IEEE Access**, Piscataway, v. 6, p. 13358–13375, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/access.2018.2808326>. Acesso em: 19 ago. 2021.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 210, n. January, p. 15–26, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>. Acesso em: 4 dez. 2020.

GACHIE, Wanjiru. Higher education institutions, private sector and government collaboration for innovation within the framework of the triple helix model. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, Abingdon, v. 12, n. 2, p. 203–215, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/20421338.2019.1631120>. Acesso em: 29 abr. 2021.

GALAN-MUROS, Victoria; DAVEY, Todd. The UBC ecosystem: putting together a comprehensive framework for university-business cooperation. **Journal of Technology Transfer**, New York, v. 44, n. 4, p. 1311–1346, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10961-017-9562-3>. Acesso em: 29 abr. 2021.

GHAVIFEKR, Simin; ROSDY, Wan Athirah Wan. Teaching and learning with technology: effectiveness of ict integration in schools. **International Journal of Research in Education and Science**, Ames, v. 1, n. 2, p. 175, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.21890/ijres.23596>. Acesso em: 4 dez. 2020.

GHOBAKHLOO, Morteza. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Bingley, v. 29, n. 6, p. 910–936, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/jmtm-02-2018-0057>. Acesso em: 4 dez. 2020.

GIL-FLORES, Javier; RODRÍGUEZ-SANTERO, Javier; TORRES-GORDILLO, Juan-Jesús. Factors that explain the use of ICT in secondary-education classrooms: the role of teacher characteristics and school infrastructure. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 68, p. 441–449, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.11.057>. Acesso em: 20 dez. 2020.

GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, José A. *et al.* Cloud computing and education: A state-of-the-art survey. **Computers and Education**, Oxford, v. 80, p. 132–151, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.017>. Acesso em: 20 dez. 2020.

GREEN, Jody; GREEN, Tim; BROWN, Abbie. Augmented reality in the K-12 classroom. **TechTrends**, New York, v. 61, n. 6, p. 603–605, 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s11528-017-0223-z>. Acesso em: 20 dez. 2020.

GROVES, Robert M. *et al.* **Survey Methodology**. 2nd ed. Hoboken, p. 488, 2009.

GUPTA, Babita; GOUL, Michael; DINTER, Barbara. Business intelligence and big data in higher education: status of a multi-year model curriculum development effort for business school undergraduates, MS graduates, and MBAs. **Communications of the Association for Information Systems**, Atlanta, v. 36, p. 449–476, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.17705/1cais.03623>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HÄMÄLÄINEN, Raija *et al.* Understanding teaching professionals' digital competence: what do PIAAC and TALIS reveal about technology-related skills, attitudes, and knowledge? **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 117, n. December 2020, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106672>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HARIHARASUDAN, A.; KOT, Sebastian. A scoping review on digital english and education 4.0 for Industry 4.0. **Social Sciences**, Basel, v. 7, n. 11, p. 227, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/socsci7110227>. Acesso em: 4 nov. 2020.

HARPE, Spencer E. How to analyze Likert and other rating scale data. **Currents in Pharmacy Teaching and Learning**, New York, v. 7, n. 6, p. 836–850, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2015.08.001>. Acesso em: 29 jun. 2021.

HARTONO, Sugiarto *et al.* Smart hybrid learning framework based on three-layer architecture to bolster up Education 4.0. 2018. **2018 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)**. New York: IEEE, 2018. p. 1–5. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ictss.2018.8550028>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HAYNES, Dave. **Video wall brings online students to class at colorado state university - samsung business insights**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://insights.samsung.com/2019/11/14/video-wall-brings-online-students-to-class-at-colorado-state-university/>. Acesso em: 28 out. 2020.

HENDRADI, P.; KHANAPI, M.; MAHFUZAH, S. N. Cloud computing-based e-learning system architecture in education 4.0. **Journal of Physics: Conference Series**, Bristol, v. 1196, n. 1, p. 0–7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1196/1/012038>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HOCKLY, Nicky; DUDENEY, Gavin. Current and future digital trends in ELT. **RELC Journal**, London, v. 49, n. 2, p. 164–178, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0033688218777318>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HOFMANN, Erik; RÜSCH, Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 89, p. 23–34, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HOLON IQ. **The complete list of global edtech unicorns – HolonIQ**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.holoniq.com/edtech-unicorns/>. Acesso em: 9 jun. 2021.

HSIAO, Hsien Sheng *et al.* Weather observers: a manipulative augmented reality system for

weather simulations at home, in the classroom, and at a museum. **Interactive Learning Environments**, Abingdon, v. 24, n. 1, p. 205–223, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.834829>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HSU, Ting Chia. Effects of gender and different augmented reality learning systems on English vocabulary learning of elementary school students. **Universal Access in the Information Society**, Heidelberg, v. 18, n. 2, p. 315–325, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0593-1>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HSU, Ying Shao; LIN, Yuan Hsiang; YANG, Beender. Impact of augmented reality lessons on students' STEM interest. **Research and Practice in Technology Enhanced Learning**, Singapore, v. 12, n. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0039-z>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HU, Xiaoyi; HAN, Zhuo Rachel. Effects of gesture-based match-to-sample instruction via virtual reality technology for Chinese students with autism spectrum disorders. **International Journal of Developmental Disabilities**, Abingdon, v. 65, n. 5, p. 327–336, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/20473869.2019.1602350>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HUANG, Chiao Ling *et al.* Influence of students' learning style, sense of presence, and cognitive load on learning outcomes in an immersive virtual reality learning environment. **Journal of Educational Computing Research**, Thousand Oaks, v. 58, n. 3, p. 596–615, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0735633119867422>. Acesso em: 20 dez. 2021.

HUANG, Hsiu Mei; LIAW, Shu Sheng; LAI, Chung Min. Exploring learner acceptance of the use of virtual reality in medical education: a case study of desktop and projection-based display systems. **Interactive Learning Environments**, Abingdon, v. 24, n. 1, p. 3–19, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.817436>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HUANG, Tien Chi; CHEN, Chia Chen; CHOU, Yu Wen. Animating eco-education: to see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. **Computers and Education**, Oxford, v. 96, p. 72–82, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.008>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HUDA, Miftachul *et al.* Exploring adaptive teaching competencies in big data era. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, Wien, v. 12, n. 3, p. 68–83, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i03.6434>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HUSSENOT, Anthony. Between structuration and translation: an approach of ICT appropriation. **Journal of Organizational Change Management**, Bingley, v. 21, n. 3, p. 335–347, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/09534810810874813>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HWANG, Gwo Jen *et al.* Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations. **Interactive Learning Environments**, Abingdon, v. 24, n. 8, p. 1895–1906, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1057747>. Acesso em: 20 dez. 2020.

IBM. **P-TECH**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.ibm.org/initiatives/p-tech>. Acesso em: 27 nov. 2020.

INEP. **Indicadores de fluxo da educação superior — Inep**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/indicadores-educacionais/indicadores-de-fluxo-da-educacao-superior>. Acesso em: 16 set. 2021.

ISERSON, Kenneth V. Ethics of virtual reality in medical education and licensure. **Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics**, Cambridge, v. 27, n. 2, p. 326–332, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s0963180117000652>. Acesso em: 20 dez. 2020.

IVANOV, Dmitry; DOLGUI, Alexandre; SOKOLOV, Boris. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. **International Journal of Production Research**, Abingdon, v. 57, n. 3, p. 829–846, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086>. Acesso em: 20 dez. 2020.

JABBOUR, Ana Beatriz Lopes de Sousa *et al.* Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**, New York, v. 270, n. 1–2, p. 273–286, 2018a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>. Acesso em: 20 dez. 2020.

JABBOUR, Ana Beatriz Lopes de Sousa *et al.* When titans meet – can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 132, n. October 2017, p. 18–25, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.017>. Acesso em: 20 dez. 2020.

JEDAMAN, Pornchai *et al.* Educational management in transition of science: policies and strategic leaders for sustainable Education 4.0 in the 21st century science classroom. **AIP Conference Proceedings**, Melville, v. 2081, p. 0–11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.5094020>. Acesso em: 20 dez. 2020.

JENSEN, Lasse; KONRADSEN, Flemming. A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. **Education and Information Technologies**, New York, v. 23, n. 4, p. 1515–1529, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>. Acesso em: 20 dez. 2020.

JI, Yang; HAN, Yu. Monitoring indicators of the flipped classroom learning process based on data mining - taking the course of “virtual reality technology” as an example. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, Wien, v. 14, n. 3, p. 166–176, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i03.10105>. Acesso em: 20 dez. 2020.

JONG, Morris Siu Yung *et al.* Integrating interactive learner-immersed video-based virtual reality into learning and teaching of physical geography. **British Journal of Educational Technology**, Chichester, v. 51, n. 6, p. 2063–2078, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bjet.12947>. Acesso em: 20 out. 2021.

JOSHI, Amit; VINAY, Muddu; BHASKAR, Preeti. Impact of coronavirus pandemic on the Indian education sector: perspectives of teachers on online teaching and assessments. **Interactive Technology and Smart Education**, Bingley, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/itse-06-2020-0087>. Acesso em: 20 out. 2021.

JUPP, Victor. **The SAGE Dictionary of Social Research Methods**. 1 Oliver’s Yard, 55 City

Road, London England EC1Y 1SP United Kingdom: SAGE Publications, Ltd, 2006.  
Disponível em: <https://doi.org/10.4135/9780857020116>

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. Sustainable industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, London, v. 117, p. 408–425, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>. Acesso em: 20 dez. 2020.

KARAKUS, Mehmet; ERSOZLU, Alpay; CLARK, Aaron C. Augmented reality research in education: A bibliometric study. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, Eastbourne, v. 15, n. 10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.29333/ejmste/103904>. Acesso em: 20 dez. 2020.

KERIS. **About**. [S. l.], 2020a. Disponível em: <https://keris.or.kr/eng/cm/cntnts/cntntsView.do?mi=1172&cntntsId=1321>. Acesso em: 30 out. 2020.

KERIS. **Project Areas**. [S. l.], 2020b. Disponível em: <https://keris.or.kr/eng/cm/cntnts/cntntsView.do?mi=1179&cntntsId=1326>. Acesso em: 30 out. 2020.

KHARE, Sushant; BAJPAI, Shrish; BHARATI, P.K. Production engineering education in India. **Management and Production Engineering Review**, Opole, v. 6, n. 1, p. 21–25, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/mpet-2015-0004>. Acesso em: 31 jan. 2022.

KHECHINE, Hager; RAYMOND, Benoit; AUGIER, Marc. The adoption of a social learning system: intrinsic value in the UTAUT model. **British Journal of Educational Technology**, Chichester, v. 51, n. 6, p. 2306–2325, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bjet.12905>. Acesso em: 27 jan. 2022.

KIMATU, Josphert Ngui. Evolution of strategic interactions from the triple to quad helix innovation models for sustainable development in the era of globalization. **Journal of Innovation and Entrepreneurship**, Heidelberg, v. 5, n. 1, p. 0–6, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13731-016-0044-x>. Acesso em: 20 dez. 2020.

KOCW. **KOCW**. [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www.kocw.net/home/special/themecourses.do#subject/16>. Acesso em: 30 out. 2020.

KOTHARI, C R; GARG, Gaurav. **Research methodology: methods and techniques**. 4th. ed. New Delhi: New Age International (P) Ltd., 2019.

KOUL, Surabhi; NAYAR, Burna. The holistic learning educational ecosystem: a classroom 4.0 perspective. **Higher Education Quarterly**, Chichester, v. 75, n. 1, p. 98–112, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/hequ.12271>. Acesso em: 16 abr. 2021.

LAFORCE, Melanie; NOBLE, Elizabeth; BLACKWELL, Courtney. Problem-Based Learning (PBL) and student interest in STEM careers: the roles of motivation and ability beliefs. **Education Sciences**, Basel, v. 7, n. 4, p. 92, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/educsci7040092>. Acesso em: 27 jul. 2021.

LASI, Heiner *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, Wiesbaden, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LE, Quang Tuan; PEDRO, Akeem; PARK, Chan Sik. A social virtual reality based construction safety education system for experiential learning. **Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications**, Dordrecht [s. l.], v. 79, n. 3–4, p. 487–506, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0112-z>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung An. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, Amsterdam, v. 3, p. 18–23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LENS. **About The Lens**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://about.lens.org/release-8-0-beta/>. Acesso em: 8 jun. 2021.

LEWIS, Kadriye O. *et al.* Leveraging e-learning in medical education. **Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care**, Philadelphia, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2014.01.004>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LI, Hong. Design of multimedia teaching platform for Chinese folk art performance based on virtual reality technology. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, Wien, v. 12, n. 9, p. 28–40, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijet.v12.i09.7487>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LI, Ling. China’s manufacturing locus in 2025: With a comparison of “Made-in-China 2025” and “Industry 4.0”. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 135, n. August 2017, p. 66–74, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.028>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LI, Ling. Education supply chain in the era of Industry 4.0. **Systems Research and Behavioral Science**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 579–592, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sres.2702>. Acesso em: 15 abr. 2021.

LI, Siqi *et al.* From ICT availability to student science achievement: mediation effects of ICT psychological need satisfactions and interest across genders. **Research in Science and Technological Education**, Oxon, v. 00, n. 00, p. 1–20, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1830269>. Acesso em: 20 mai. 2021.

LI, Xiang. Design and application of multimedia teaching video system for dance major based on cloud computing technology. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, Wien, v. 11, n. 5, p. 22–26, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijet.v11i05.5689>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LI, Xiaomin *et al.* A review of industrial wireless networks in the context of industry 4.0. **Wireless Networks**, New York, v. 23, n. 1, p. 23–41, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11276-015-1133-7>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LIAO, Yongxin *et al.* Past, present and future of industry 4.0 - a systematic literature review

and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, Abingdon, v. 55, n. 12, p. 3609–3629, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LIESA-ORÚS, Marta *et al.* The technological challenge facing higher education professors: perceptions of ICT Tools for developing 21st century skills. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 13, p. 5339, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12135339>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LIM, Cheolil; LEE, Jihyun; CHOI, Hyoseon. South Korea. *In*: ZAWACKI-RICHTER, O., QAYYUM, A. (ed.). **Open and distance education in Asia, Africa and the Middle East**. SpringerBriefs in Education. Singapore: Springer, 2019. p. 87–100. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-5787-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-5787-9_10). Acesso em: 20 nov. 2020.

LIM, Cher Ping *et al.* Information and communication technologies (ICT) for access to quality education in the global south: a case study of Sri Lanka. **Education and Information Technologies**, New York, v. 25, n. 4, p. 2447–2462, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10069-3>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LIM, Cher Ping *et al.* Leveraging information and communication technologies (ICT) to enhance education equity, quality, and efficiency: case studies of Bangladesh and Nepal. **Educational Media International**, Abingdon, v. 57, n. 2, p. 87–111, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09523987.2020.1786774>. Acesso em: 29 out. 2020.

LIM, Cher Ping; YAN, Hanbing; XIONG, Xibei. Development of pre-service teachers' information and communication technology (ICT) in education competencies in a mainland Chinese university. **Educational Media International**, Abingdon, v. 52, n. 1, p. 15–32, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09523987.2015.1005425>. Acesso em: 29 out. 2020.

LINCOLN. **Lincoln Electric Education »Soluções de educação - Lincoln Electric Education**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://education.lincolnelectric.com/materials-equipment/education-solutions/>. Acesso em: 28 out. 2020.

LINCOLN ELECTRIC. **Virtual Reality Welding Simulators**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://education.lincolnelectric.com/products/welding-training-systems/virtual-reality-welding-simulators/>. Acesso em: 28 out. 2020.

LIU, Ruixue *et al.* Effects of an immersive virtual reality-based classroom on students' learning performance in science lessons. **British Journal of Educational Technology**, Chichester, v. 51, n. 6, p. 2034–2049, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bjet.13028>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LU, Su Ju; LIU, Ying Chieh. Integrating augmented reality technology to enhance children's learning in marine education. **Environmental Education Research**, Abingdon, v. 21, n. 4, p. 525–541, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13504622.2014.911247>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, Amsterdam, v. 6, p. 1–10, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LUBURIĆ, Nikola *et al.* The challenges of migrating an active learning classroom online in a crisis. **Computer Applications in Engineering Education**, Hoboken, v. 29, n. 6, p. 1617–1641, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cae.22413>. Acesso em: 24 jan. 2022.

LUCAS, Margarida *et al.* The relation between in-service teachers' digital competence and personal and contextual factors: what matters most? **Computers and Education**, Oxford, v. 160, p. 104052, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104052>. Acesso em: 20 jan. 2022.

MAEDA, Hotaka. Response option configuration of online administered Likert scales. **International Journal of Social Research Methodology**, Abingdon, v. 18, n. 1, p. 15–26, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13645579.2014.885159>. Acesso em: 29 jun. 2021.

MARKOPOULOS, Angelos P. *et al.* Gamification in engineering education and professional training. **International Journal of Mechanical Engineering Education**, London, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0306419015591324>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MARTÍN-GUTIÉRREZ, Jorge *et al.* Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 51, p. 752–761, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.093>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MATTSSON, Lars Gunnar; ANDERSSON, Per. Private-public interaction in public service innovation processes- business model challenges for a start-up EdTech firm. **Journal of Business and Industrial Marketing**, New Castle, v. 34, n. 5, p. 1106–1118, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/jbim-10-2018-0297>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MCCARTHY, Tessa *et al.* An artificial intelligence tutor: A supplementary tool for teaching and practicing braille. **Journal of Visual Impairment and Blindness**, Thousand Oaks, v. 110, n. 5, p. 309–322, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0145482x1611000503>

MCNEAL, Karen S. *et al.* A multi-institutional study of inquiry-based lab activities using the Augmented Reality Sandbox: impacts on undergraduate student learning. **Journal of Geography in Higher Education**, Abingdon, v. 44, n. 1, p. 85–107, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03098265.2019.1694875>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MD ENZAI, Nur Idawati *et al.* Development of Augmented Reality (AR) for innovative teaching and learning in engineering education. **Asian Journal of University Education**, Selangor, v. 16, n. 4, p. 99, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.24191/ajue.v16i4.11954>. Acesso em: 20 jan. 2022.

MEC. **Termo de Adesão da UNIFEI ao SISU**. Itajubá, 2020. Disponível em: <https://owncloud.unifei.edu.br/index.php/s/kymqt46xcvcklf7>. Acesso em: 16 set. 2021.

MIAN, Syed Hammad *et al.* Adapting universities for sustainability education in industry 4.0: Channel of challenges and opportunities. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12156100>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (coord) *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MISHRA, Prabhaker *et al.* Descriptive statistics and normality tests for statistical data. **Annals of Cardiac Anaesthesia**, Mumbai, v. 22, n. 1, p. 67, 2019. Disponível em: [https://doi.org/10.4103/aca.aca\\_157\\_18](https://doi.org/10.4103/aca.aca_157_18). Acesso em: 18 abr. 2022.

MOE OF TAIWAN. **Department of Information and Technology Education -Ministry of Education Republic of China (Taiwan)**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://english.moe.gov.tw/cpview-4-15160-af176-1.html>. Acesso em: 20 nov. 2020.

MOE OF TAIWAN. **Digital application promotion project in remote areas**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://itaiwan.moe.gov.tw/english/index.php>. Acesso em: 20 nov. 2020.

MOEUF, Alexandre *et al.* The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, Abingdon, v. 56, n. 3, p. 1118–1136, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MOHAMMADI, Hossein. Investigating users' perspectives on e-learning: an integration of TAM and IS success model. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 45, p. 359–374, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.07.044>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MONGEON, Philippe; PAUL-HUS, Adèle. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, Budapest, v. 106, n. 1, p. 213–228, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>. Acesso em: 11 dez. 2020.

MOURTZIS, D. *et al.* Cyber- Physical Systems and Education 4.0 –The teaching factory 4.0 concept. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 23, p. 129–134, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.005>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MÜLLER, Julian Marius; KIEL, Daniel; VOIGT, Kai Ingo. What drives the implementation of industry 4.0? the role of opportunities and challenges in the context of sustainability. **Sustainability**, Basel, v. 10, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10010247>. Acesso em: 20 abr. 2021.

NIKOLOPOULOU, Kleopatra; AKRIOTOU, Despoina; GIALAMAS, Vasilis. Early reading skills in english as a foreign language via ICT in Greece: early childhood student teachers' perceptions. **Early Childhood Education Journal**, Dordrecht, v. 47, n. 5, p. 597–606, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10643-019-00950-8>. Acesso em: 20 abr. 2021.

NIKOLOPOULOU, Kleopatra; GIALAMAS, Vasilis; LAVIDAS, Konstantinos. Acceptance of mobile phone by university students for their studies: an investigation applying UTAUT2 model. **Education and Information Technologies**, New York, v. 25, n. 5, p. 4139–4155, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10157-9>. Acesso em: 8 set. 2021.

NSF. **At a Glance**. [S. l.], 2020a. Disponível em: <https://www.nsf.gov/about/glance.jsp>. Acesso em: 28 out. 2020.

NSF. **Smart advanced manufacturing education in the Silicon Valley**. [S. l.], 2020b. Disponível em:

[https://www.nsf.gov/awardsearch/showaward?awd\\_id=1902339&historicalawards=false](https://www.nsf.gov/awardsearch/showaward?awd_id=1902339&historicalawards=false). Acesso em: 28 out. 2020.

NUNHES, Thaís Vieira *et al.* Where to go with corporate sustainability? opening paths for sustainable businesses through the collaboration between universities, governments, and organizations. **Sustainability**, v. 13, n.3, p.1429, Basel, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13031429>. Acesso em: 10 jan. 2022.

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 83, p. 121–139, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>. Acesso em: 20 abr. 2021.

OKAY SMART EDUCATION. **OK learning machine S4 plus**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.okayzhui.com/studymachine.html>. Acesso em: 30 out. 2020.

OKAY SMART EDUCATION. **OKAY smart education releases world’s first intelligent educational device ushers in the era of demand-based learning**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-7th-world-smart-education-summit-forum-worlds-first-intelligent-educational-device-ushers-in-the-era-of-demand-based-learning-300489022.html>. Acesso em: 20 nov. 2020.

OLIVEIRA, Otávio José *et al.* Bibliometric method for mapping the state-of-the-art and identifying research gaps and trends in literature: an essential instrument to support the development of scientific projects. In: KUNOSIC, S. , ZEREM, E. (ed.). **Scientometrics Recent Advances**. London: IntechOpen; 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.85856>. Acesso em: 6 jul. 2021.

OPRIŞ, Ioana *et al.* Step-by-step augmented reality in power engineering education. **Computer Applications in Engineering Education**, Hoboken, v. 26, n. 5, p. 1590–1602, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cae.21969>. Acesso em: 26 jan. 2022.

ORLIKOWSKI, Wanda J. Using technology and constituting structures: a practice lens for studying technology in organizations. **Organization Science**, Catonsville, v. 11, n. 4, p. 404–428, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.11.4.404.14600>. Acesso em: 20 abr. 2021.

P-TECH. **Open P-TECH | Aprendizado digital gratuito sobre as habilidades de futuro!**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.ptech.org/br/open-p-tech/>. Acesso em: 27 nov. 2020.

PALMARINI, Riccardo *et al.* A systematic review of augmented reality applications in maintenance. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, Oxford, v. 49, p. 215–228, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>

PAQUETTE, Luc; BAKER, Ryan S. Comparing machine learning to knowledge engineering for student behavior modeling: a case study in gaming the system. **Interactive Learning Environments**, Abingdon, v. 27, n. 5–6, p. 585–597, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1610450>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PEDRO, Akeem; LE, Quang Tuan; PARK, Chan Sik. Framework for Integrating Safety into Construction Methods Education through Interactive Virtual Reality. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, [s. l.], v. 142, n. 2, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ei.1943-5541.0000261](https://doi.org/10.1061/(asce)ei.1943-5541.0000261). Acesso em: 20 abr. 2021.

PEREIRA, A. C.; ROMERO, F. A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 13, p. 1206–1214, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PHAM, Hai Chien *et al.* Virtual field trip for mobile construction safety education using 360-degree panoramic virtual reality. **International Journal of Engineering Education**, Dublin, v. 34, n. 4, p. 1174–1191, 2018.

PIWOWAR-SULEJ, Katarzyna. Human resources development as an element of sustainable HRM – with the focus on production engineers. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 278, p. 124008, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124008>. Acesso em: 13 jul. 2021.

POMBO, Lúcia; CARLOS, Vânia; LOUREIRO, Maria João. Edulabs for the integration of technologies in basic education – monitoring the agire project. **International Journal of Research in Education and Science**, Ames, v. 2, n. 1, p. 16–29, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21890/ijres.56518>. Acesso em: 20 abr. 2021.

POPENICI, Stefan A.D.; KERR, Sharon. Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. **Research and Practice in Technology Enhanced Learning**, Singapore, v. 12, n. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PRANCKUTĖ, Raminta. Web of Science (WoS) and Scopus: the titans of bibliographic information in today's academic world. **Publications**, Basel, v. 9, n. 1, p. 12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/publications9010012>. Acesso em: 3 ago. 2021.

QASEM, Yousef A.M. *et al.* Cloud computing adoption in higher education institutions: a systematic review. **IEEE Access**, Piscataway, v. 7, p. 63722–63744, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2916234>. Acesso em: 20 abr. 2021.

QI, Qinglin; TAO, Fei. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. **IEEE Access**, Piscataway, v. 6, p. 3585–3593, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/access.2018.2793265>. Acesso em: 20 abr. 2021.

RADIANTI, Jaziar *et al.* A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: design elements, lessons learned, and research agenda. **Computers & Education**, Oxford, v. 147, p. 103778, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>. Acesso em: 26 jan. 2022.

RATHEE, Geetanjali *et al.* A secure IoT sensors communication in industry 4.0 using blockchain technology. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, Heidelberg, v. 12, n. 1, p. 533–545, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S12652-020-02017-8>. Acesso em: 26 ago. 2021.

RAZA, Syed A. *et al.* Social isolation and acceptance of the Learning Management System (LMS) in the time of COVID-19 pandemic: an expansion of the UTAUT model. **Journal of Educational Computing Research**, Thousand Oaks, v. 59, n. 2, p. 183–208, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0735633120960421>. Acesso em: 10 set. 2021.

RAZORENOV, Yuriy I.; VODENKO, Konstantin V. Innovative development of the national university system in Russia: trends and key elements. **International Journal of Sociology and Social Policy**, Bingley, v. 41, n. 1–2, p. 253–262, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ijssp-03-2020-0073>. Acesso em: 20 abr. 2021.

REDECKER, Christine. European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. **Joint Research Centre (JRC) Science for Policy report**, [s. l.], p. 95, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2760/159770>. Acesso em: 13 set. 2021.

REGAN, Priscilla M.; KHWAJA, Elsa Talat. Mapping the political economy of education technology: a networks perspective. **Policy Futures in Education**, London, v. 17, n. 8, p. 1000–1023, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1478210318819495>. Acesso em: 20 abr. 2021.

REVILLA-CUESTA, Víctor *et al.* Reflections throughout the COVID-19 lockdown: what do i need for successful learning of engineering? **International Journal of Environmental Research and Public Health**, London, v. 18, n. 21, p. 11527, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph182111527>. Acesso em: 24 jan. 2022.

ROBERTS-MAHONEY, Heather; MEANS, Alexander J.; GARRISON, Mark J. Netflixing human capital development: personalized learning technology and the corporatization of K-12 education. **Journal of Education Policy**, Abingdon, v. 31, n. 4, p. 405–420, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02680939.2015.1132774>. Acesso em: 20 set. 2021.

ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz. A Complex View of Industry 4.0. **SAGE Open**, Thousand Oaks, v. 6, n. 2, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>. Acesso em: 20 set. 2021.

RODRÍGUEZ DEL ÁGUILA, M. M.; GONZÁLEZ-RAMÍREZ, A. R. Sample size calculation. **Allergologia et Immunopathologia**, Brisbane, v. 42, n. 5, p. 485–492, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aller.2013.03.008>. Acesso em: 20 set. 2021.

ROJKO, Andreja. Industry 4.0 concept: Background and overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, Wien, v. 11, n. 5, p. 77–90, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>. Acesso em: 20 set. 2021.

ROMERO-RODRIGUEZ, Jose-Maria *et al.* Mobile learning in higher education: structural equation model for good teaching practices. **IEEE Access**, Piscataway, v. 8, p. 91761–91769, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2994967>. Acesso em: 26 jan. 2022.

RS. **The EdTech Report 2019/20 - The Growth of Technology in Education | RS Components**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://uk.rs-online.com/web/generaldisplay.html?id=did-you-know/the-edtech-report>. Acesso em: 9 jun. 2021.

SABI, Humphrey M. *et al.* Conceptualizing a model for adoption of cloud computing in education. **International Journal of Information Management**, Oxford, v. 36, n. 2, p. 183–191, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.11.010>. Acesso em: 20 set. 2021.

SACKEY, Samuel Mensah; BESTER, Andre; ADAMS, Dennit. Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa. **South African Journal of Industrial Engineering**, Midrand, v. 28, n. 1, p. 114–124, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.7166/28-1-1584>. Acesso em: 20 set. 2021.

SALAH, Bashir *et al.* Integrating the concept of industry 4.0 by teaching methodology in industrial engineering curriculum. **Processes**, Basel, v. 8, n. 9, p. 1007, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr8091007>. Acesso em: 17 jun. 2021.

SALAH, Bashir *et al.* Virtual reality-based engineering education to enhance manufacturing sustainability in industry 4.0. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 5, p. 1–19, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11051477>. Acesso em: 20 set. 2021.

SAMSUNG. **Cultivate key human resources who will lead the 4th Industrial Revolution**. [S. l.], 2020a. Disponível em: <http://csr.samsung.com/en/programviewsic.do>. Acesso em: 20 nov. 2020.

SAMSUNG. **Education that can enable anyone to do anything**. [S. l.], 2020b. Disponível em: <http://csr.samsung.com/en/programviewss.do>. Acesso em: 20 nov. 2020.

SAMSUNG. **Just one week can start a long, meaningful relationship and change**. [S. l.], 2020c. Disponível em: <http://csr.samsung.com/en/programviewoneweek.do>. Acesso em: 20 nov. 2020.

SAMSUNG. **Technology in Education**. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.samsung.com/us/business/solutions/industries/education/>. Acesso em: 28 out. 2020.

SÁNCHEZ-PRIETO, José Carlos; OLMOS-MIGUELÁÑEZ, Susana; GARCÍA-PEÑALVO, Francisco J. Mlearning and pre-service teachers: an assessment of the behavioral intention using an expanded TAM model. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 72, p. 644–654, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.09.061>. Acesso em: 20 set. 2021.

SANCHO-GIL, Juana M.; RIVERA-VARGAS, Pablo; MIÑO-PUIGCERCÓS, Raquel. Moving beyond the predictable failure of ed-tech initiatives. **Learning, Media and Technology**, Abingdon, v. 45, n. 1, p. 61–75, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17439884.2019.1666873>. Acesso em: 20 set. 2021.

SANDERS, Adam; ELANGESWARAN, Chola; WULFSBERG, Jens. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, Barcelona, v. 9, n. 3, p. 811–833, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>. Acesso em: 20 set. 2021.

SANTOS, Patrícia Fernanda dos *et al.* Analyzing the competences of production engineering graduates: an industry perspective. **Production**, São Paulo, v. 27, 2017. Disponível em:

- <https://doi.org/10.1590/0103-6513.005317>. Acesso em: 31 jan. 2022.
- SCHERER, Ronny; SIDDIQ, Fazilat; TEO, Timothy. Becoming more specific: measuring and modeling teachers' perceived usefulness of ICT in the context of teaching and learning. **Computers and Education**, Oxford, v. 88, p. 202–214, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.05.005>. Acesso em: 20 set. 2021.
- SCHERER, Ronny; SIDDIQ, Fazilat; TONDEUR, Jo. The technology acceptance model (TAM): a meta-analytic structural equation modeling approach to explaining teachers' adoption of digital technology in education. **Computers & Education**, Oxford, v. 128, p. 13–35, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.009>. Acesso em: 20 set. 2021.
- SCHNEIDER, Deborah *et al.* The effects of an ICT-based reading intervention on students' achievement in grade two. **Reading Psychology**, Denton, v. 37, n. 5, p. 798–831, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02702711.2015.1111963>. Acesso em: 20 set. 2021.
- SHACKELFORD, Laura *et al.* Relationships between motivational support and game features in a game-based virtual reality learning environment for teaching introductory archaeology. **Educational Media International**, Abingdon, v. 56, n. 3, p. 183–200, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09523987.2019.1669946>. Acesso em: 20 set. 2021.
- SHAHID, Manal. **15 largest edtech companies in the world**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://finance.yahoo.com/news/15-largest-edtech-companies-world-155126885.html>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- SHEN, Chien-Wen *et al.* Behavioural intentions of using virtual reality in learning: perspectives of acceptance of information technology and learning style. **Virtual Reality**, London, v. 23, p. 313–324, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0348-1>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- SHENGLI, Xie *et al.* **Electric power teaching switching operation virtual reality teaching cabinet**. CN201922058970U. Concessão: 2019.
- SHI, Yinghui *et al.* Trends of Cloud Computing in Education. *In*: LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE (including subseries lecture notes in artificial intelligence and lecture notes in bioinformatics), 2014, Heidelberg. **Proceedings [...]**. Heidelberg: Springer Verlag, 2014. v. 8595, p. 116–128. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08961-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08961-4_12). Acesso em: 29 out. 2020.
- SHIAU, Wen Lung; CHAU, Patrick Y.K. Understanding behavioral intention to use a cloud computing classroom: a multiple model comparison approach. **Information and Management**, Amsterdam, v. 53, n. 3, p. 355–365, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.im.2015.10.004>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- SHUKRI ALZAZA, Naji; RAZAK YAAKUB, Abdul. Students' awareness and requirements of mobile learning services in the higher education environment. **American Journal of Economics and Business Administration**, Dubai, v. 3, n. 1, p. 95–100, 2011.
- SHUO, Zou. **2 plans detail China's goals for education**. [S. l.], 2019. Disponível em: [http://english.www.gov.cn/policies/policy\\_watch/2019/02/25/content\\_281476537597482.htm](http://english.www.gov.cn/policies/policy_watch/2019/02/25/content_281476537597482.htm).

Acesso em: 20 nov. 2020.

SKRYABIN, Maxim *et al.* How the ICT development level and usage influence student achievement in reading, mathematics, and science. **Computers and Education**, Oxford, v. 85, p. 49–58, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.02.004>. Acesso em: 20 set. 2021.

SMITH, Cate C. *et al.* Examining augmented reality to improve navigation skills in postsecondary students with intellectual disability. **Journal of Special Education Technology**, Thousand Oaks, v. 32, n. 1, p. 3–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0162643416681159>. Acesso em: 4 maio 2021.

SOLIMAN, Maged *et al.* The application of virtual reality in engineering education. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 6, p. 2879, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app11062879>. Acesso em: 31 jan. 2022.

SOLTIS, Nicholas A. *et al.* A novel approach to measuring student engagement while using an augmented reality sandbox. **Journal of Geography in Higher Education**, Abingdon, v. 44, n. 4, p. 512–531, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03098265.2020.1771547>. Acesso em: 20 set. 2021.

SOUTHGATE, Erica *et al.* Embedding immersive virtual reality in classrooms: ethical, organisational and educational lessons in bridging research and practice. **International Journal of Child-Computer Interaction**, Amsterdam, v. 19, p. 19–29, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.10.002>. Acesso em: 20 set. 2021.

SQUIRREL AI LEARNING. **1st AI-powered adaptive education provider in China**. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://squirrelai.com/>. Acesso em: 28 out. 2020.

SQUIRREL AI LEARNING. **Product**. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://squirrelai.com/product/ials>. Acesso em: 28 out. 2020.

STATE GRID CORPORATION. **Corporate Profile**. [S. l.], 2017. Disponível em: [http://www.sgcc.com.cn/html/sgcc\\_main\\_en/col2017112307/column\\_2017112307\\_1.shtml](http://www.sgcc.com.cn/html/sgcc_main_en/col2017112307/column_2017112307_1.shtml). Acesso em: 29 out. 2020.

SULAIMAN, Hidayah; SUID, Nurdiyana; BIN IDRIS, Mohd. Azree. Usability evaluation of confirm-a learning tool towards education 4.0. **2018 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services (IC3e)**. Piscataway: IEEE, 2018. p. 73–78. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ic3e.2018.8632637>. Acesso em: 20 set. 2021.

TABOR, Sharon W. Making mobile learning work: student perceptions and implementation factors. **Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice**, Santa Rosa, v. 15, n. 1, p. 75–98, 2016.

TAKALA, Tuukka M. *et al.* Empowering students to create better virtual reality applications: a longitudinal study of a VR capstone course. **Informatics in Education**, Vilnius, v. 15, n. 2, p. 287–317, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15388/infedu.2016.15>. Acesso em: 20 set. 2021.

TAN, Paul Juinn Bing. Applying the UTAUT to understand factors affecting the use of english e-learning websites in Taiwan. **SAGE Open**, Thousand Oaks, v. 3, n. 4, p. 215824401350383, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2158244013503837>. Acesso em: 7 set. 2021.

TASHKANDI, Alalaa N.; AL-JABRI, Ibrahim M. Cloud computing adoption by higher education institutions in Saudi Arabia: an exploratory study. **Cluster Computing**, New York, v. 18, n. 4, p. 1527–1537, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10586-015-0490-4>. Acesso em: 20 set. 2021.

TERZOPOULOS, George; SATRATZEMI, Maya. Voice assistants and smart speakers in everyday life and in education. **Informatics in Education**, Vilnius, v. 19, n. 3, p. 473–490, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15388/infedu.2020.21>. Acesso em: 20 set. 2021.

THOBEN, Klaus-dieter; WIESNER, Stefan; WUEST, Thorsten. “Industrie 4.0” and smart manufacturing – a review of research issues and application examples. **International Journal of Automation Technology**, Tokyo, v. 11, n. 1, p. 4–16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>. Acesso em: 20 set. 2021.

TOTAL SOFT BANK. **Overview**. [S. l.], 2008. Disponível em: [http://www.tsb.co.kr/en/sub05\\_01.php](http://www.tsb.co.kr/en/sub05_01.php). Acesso em: 30 out. 2020.

TOTAL SOFT BANK. **Simulator**. [S. l.], 2018. Disponível em: [http://www.tsb.co.kr/en/sub01\\_04.php](http://www.tsb.co.kr/en/sub01_04.php). Acesso em: 30 out. 2020.

U.S. DEPARTMENT OF EDUCATION. **Title IV—21st century schools — every student succeeds act (ESSA)**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www2.ed.gov/policy/elsec/leg/essa/legislation/title-iv.html>. Acesso em: 28 out. 2020.

UFF. **Vagas - Vestibular 2020**. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://www.coseac.uff.br/20201/arquivos/uff-sisu2020-1edicao-edital-anexoI.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.

UMACHANDRAN, K. *et al.* Designing learning-skills towards industry 4.0. **World journal on educational technology: Current issues**, Lefkosa Cyprus, v. 11, n. 1, p. 12–23, 2019.

UN. **Sustainable Development Goals - Quality Education**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/education/>. Acesso em: 28 out. 2020.

UNESCO. **Distance learning solutions**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse/solutions>. Acesso em: 9 jun. 2021.

UNESCO. **ICT in education**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://en.unesco.org/themes/ict-education>. Acesso em: 28 out. 2020.

UNESCO. **Quick Guide to Education Indicators for SDG 4**. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/quick-guide-education-indicators-sdg4-2018-en.pdf>. Acesso em: 28 out. 2020.

UNESP. **UNESP - Vestibular 2020**. [S. l.], 2020. Disponível em:

<https://documento.vunesp.com.br/documento/stream/mtqynjc1na%3d%3d>. Acesso em: 16 set. 2021.

UNITAU. **Engenharia de Produção - Universidade de Taubaté - UNITAU**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://unitau.br/cursos/graduacao/engenharia-mecanica/engenharia-de-producao-mecanica/>. Acesso em: 16 set. 2021.

UNIVERSITY OF TENNESSEE. **Theory & Practice in Teacher Education**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://tpte.utk.edu/people/david-f-cihak-phd/>. Acesso em: 28 out. 2020.

URMI, Shahina Sultana; TAHER, Kazi Abu. Integrating ICT in teaching and learning at university level focusing education 4.0. *In:* , 2021. **2021 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (ICICT4SD)**. Piscataway: IEEE, 2021. p. 300–304. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/iciict4sd50815.2021.9396988>. Acesso em: 25 jan. 2022.

USP. **USP : Evasão - Pró-Reitoria de Graduação**. [S. l.], 2019.

VALTONEN, Teemu *et al.* The impact of authentic learning experiences with ICT on pre-service teachers' intentions to use ICT for teaching and learning. **Computers and Education**, Oxford, v. 81, p. 49–58, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.09.008>. Acesso em: 20 set. 2021.

VAN DER NEST, Daniel P.; SMIDT, Louis; LUBBE, Dave. The application of statistical and/or non-statistical sampling techniques by internal audit functions in the South African banking industry. **Risk Governance and Control: Financial Markets and Institutions**, Sumy, v. 5, n. 1, p. 72–80, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.22495/rgcv5i1art7>. Acesso em: 20 set. 2021.

VILA, C. *et al.* Project-based collaborative engineering learning to develop Industry 4.0 skills within a PLM framework. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 13, p. 1269–1276, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.050>. Acesso em: 20 set. 2021.

VILLAGRASA, Sergi *et al.* Teaching case of gamification and visual technologies for education. **Journal of Cases on Information Technology**, Hershey, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/jcit.2014100104>. Acesso em: 20 jul. 2021.

VINCENT, C. Lavina *et al.* Patent data mining in fisheries sector: an analysis using questel-orbit and espacenet. **World Patent Information**, Oxford, v. 51, p. 22–30, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2017.11.004>. Acesso em: 11 dez. 2020.

VOLCHENKOVA, K. N. Flipped classroom for doctoral students: evaluating the effectiveness. **Higher Education in Russia**, Moscow, v. 28, n. 5, p. 94–103, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-5-94-103>. Acesso em: 20 jul. 2021.

VU, Thi Lan Anh. Building CDIO approach training programmes against challenges of industrial revolution 4.0 for engineering and technology development. **International Journal of Engineering Research and Technology**, New Delhi, v. 11, n. 7, p. 1129–1148, 2018.

WANG, Shiyong *et al.* Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International**

**Journal of Distributed Sensor Networks**, Thousand Oaks, v. 2016, 2016a. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>. Acesso em: 20 jul. 2021.

WANG, Shiyong *et al.* Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks**, Amsterdam, v. 101, p. 158–168, 2016b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>. Acesso em: 20 jul. 2021.

WASHINGTON STATE UNIVERSITY. **Assistive Technology Research & Development Lab**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://labs.wsu.edu/assistivetech/>. Acesso em: 28 out. 2020.

WASHINGTON STATE UNIVERSITY. **Don McMahon - College of education**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://education.wsu.edu/don-mcmahon/>. Acesso em: 28 out. 2020.

WEI, Xiaodong *et al.* Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. **Computers and Education**, Oxford, v. 81, p. 221–234, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.10.017>. Acesso em: 20 jul. 2021.

WOLLSCHLAEGER, Martin; SAUTER, Thilo; JASPERNEITE, Juergen. The future of industrial communication: automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, Piscataway, v. 11, n. 1, p. 17–27, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/mie.2017.2649104>. Acesso em: 20 jul. 2021.

WORLD ECONOMIC FORUM. Schools of the future: defining new models of education for the fourth industrial revolution. **World Economic Forum Reports 2020**, [s. l.], n. January, p. 1–33, 2020. Disponível em: [www.weforum.org](http://www.weforum.org). Acesso em: 20 jan. 2022.

WU, Di *et al.* Relationship between ICT supporting conditions and ICT application in Chinese urban and rural basic education. **Asia Pacific Education Review**, Dordrecht, v. 20, n. 1, p. 147–157, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12564-018-9568-z>. Acesso em: 29 out. 2020.

WU, Juana *et al.* Integrating spherical video-based virtual reality into elementary school students' scientific inquiry instruction: effects on their problem-solving performance. **Interactive Learning Environments**, Abingdon, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1587469>. Acesso em: 20 jul. 2021.

XU, Li Da; XU, Eric L.; LI, Ling. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, Abingdon, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>. Acesso em: 20 jul. 2021.

XUECHENG, Lu. **Portable on-line education terminal of artificial intelligence**. CN109887355. Concessão: 2019.

YAN, Zhou *et al.* **VR (virtual reality) device for simulation teaching of power transmission and distribution major**. CN106448280A. Concessão: 2016.

YANG, Stephen J.H.; HUANG, Chester S.J. Taiwan digital learning initiative and big data analytics in education cloud. **Proceedings - 2016 5th IIAI International Congress on**

**Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2016**, [s. l.], p. 366–370, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2016.41>. Acesso em: 20 jul. 2021.

YILMAZ, Rabia M. Educational magic toys developed with augmented reality technology for early childhood education. **Computers in Human Behavior**, Oxford, v. 54, p. 240–248, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.040>. Acesso em: 20 jul. 2021.

YUSUF, Byabazaire; WALTERS, Lynne Masel; SAILIN, Siti Nazuar. Restructuring educational institutions for growth in the fourth Industrial Revolution (4IR): a systematic review. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, Wien, v. 15, n. 03, p. 93–109, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i03.11849>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ZEIDE, Elana. The structural consequences of big data-driven education. **Big Data**, New Rochelle, v. 5, n. 2, p. 164–172, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/big.2016.0061>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ZHANG, Danhui; LIU, Luman. How does ICT use influence students' achievements in math and science over time? Evidence from PISA 2000 to 2012. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, Eastbourne, v. 12, n. 9, p. 2431–2449, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1297a>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ZHANG, Wei; ZHU, Yanchun. A new e-learning model based on elastic cloud computing for distance education. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, Eastbourne, v. 13, n. 12, p. 8393–8403, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.12973/ejmste/80800>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ZHENG, Pai *et al.* Smart manufacturing systems for industry 4.0: conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Frontiers of Mechanical Engineering**, Beijing, v. 13, n. 2, p. 137–150, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ZHONG, Ray Y. *et al.* Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. **Engineering**, Beijing, v. 3, n. 5, p. 616–630, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ZUTSHI, Aneesh; GRILO, Antonio. The emergence of digital platforms: a conceptual platform architecture and impact on industrial engineering. **Computers & Industrial Engineering**, Oxford, v. 136, p. 546–555, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.027>. Acesso em: 31 jan. 2022.

**APÊNDICE A – OS 30 ARTIGOS MAIS CITADOS SOBRE EDUCAÇÃO E AS  
TECNOLOGIAS DA I4 NO PERÍODO DE 2015 A 2019**

(continua)

| <b>Título</b>   | <b>Autores</b>           | <b>Ano</b> | <b>Jornal</b>                                   | <b>Citação</b> | <b>Oportunidade</b>   |
|---|--------------------------|------------|---|----------------|---|
| Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature  | Akçayır e Akçayır        | 2017       | Educational Research Review                     | 295            | Desenvolver softwares com tecnologia de Realidade Aumentada para atividades de ensino práticas de acordo com as necessidades dos alunos e professores |
| Big Data and analytics in higher education: Opportunities and challenges  | Daniel                   | 2015       | British Journal of Educational Technology       | 191            | Analisar os dados e as informações de Big Data que contribuem para a melhoria do desempenho acadêmico   |
| Cloud computing and education: A state-of-the-art survey  | González-Martínez et al. | 2015       | Computers and Education                         | 155            | Validar os aplicativos desenvolvidos com Cloud Computing para o ensino com alunos, professores e profissionais da TI                                  |
| Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education  | Martín-Gutiérrez et al.  | 2015       | Computers in Human Behavior                     | 133            | Propor métricas para avaliar a qualidade do ensino e o desempenho dos alunos que utilizam a RA no ensino superior                                     |
| Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories | Akçayır, et al.          | 2016       | Computers in Human Behavior                     | 129            | Propor modelos e diretrizes para o uso de RA em laboratórios dos cursos de engenharia   |
| Conceptualizing a model for adoption of cloud computing in education  | Sabi et al.              | 2016       | International Journal of Information Management | 114            | Avaliar os benefícios e as dificuldades da implementação da Cloud Computing em universidades  |
| Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment   | Huang, Chen e Chou       | 2016       | Computers and Education                         | 110            | Mapear quais tecnologias podem ser combinadas com a RA para aumentar seus benefícios nos ambientes de aprendizagem                                    |
| Educational magic toys developed with augmented reality technology for early childhood education  | Yilmaz                   | 2016       | Computers in Human Behavior                     | 109            | Desenvolver atividades educacionais com a RA para o ensino infantil e avaliar seus efeitos na aprendizagem  |
| Understanding behavioral intention to use a cloud computing classroom: A multiple model comparison approach   | Shiau e Chau             | 2016       | Information and Management                      | 99             | Propor diretrizes para implementação da Cloud Computing nas universidades   |
| Teaching based on augmented reality for a technical creative design course  | Wei et al.               | 2015       | Computers and Education                         | 91             | Desenvolver cursos de capacitação para professores sobre as tecnologias do Ensino 4.0 e estimular a sua aplicação                                     |
| Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0  | Benešová e Tupa          | 2017       | Procedia Manufacturing                          | 86             | Mapear as habilidades e competências necessárias que devem ser incluídas nas grades curriculares para formação na I4.0                                |

**APÊNDICE A – OS 30 ARTIGOS MAIS CITADOS SOBRE EDUCAÇÃO E AS  
TECNOLOGIAS DA I4 NO PERÍODO DE 2015 A 2019**

(continua)

| <b>Título</b>   | <b>Autores</b>                                  | <b>Ano</b> | <b>Jornal</b>   | <b>Citação</b> | <b>Oportunidade</b>  |
|---|---|------------|---|----------------|--|
| Factors that explain the use of ICT in secondary-education classrooms: The role of teacher characteristics and school infrastructure          | Gil-Flores, Rodríguez-Santero e Torres-Gordillo | 2017       | Computers in Human Behavior   | 84             | Propor grades curriculares de formação de novos professores considerando o desenvolvimento das habilidades em tecnologias da informação e comunicação                  |
| Teaching and learning with technology: Effectiveness of ICT integration in schools  | Ghavifekr e Rosdy                               | 2015       | International Journal of Research in Education and Science          | 78             | Propor soluções aos desafios e barreiras que impedem os professores a usarem as tecnologias da informação e comunicação nas salas de aulas                             |
| Antecedents and consequences of cloud computing adoption in education to achieve knowledge management   | Arpaci I.                                       | 2017       | Computers in Human Behavior   | 77             | Aperfeiçoar os ambientes virtuais de ensino com o Cloud Computing para aumento da aprendizagem colaborativa  |
| Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations            | Hwang et al.                                    | 2016       | Interactive Learning Environments                                   | 75             | Identificar e analisar os benefícios e dificuldades da aplicação da realidade virtual e jogos no desempenho acadêmico  |
| The impact of authentic learning experiences with ICT on pre-service teachers' intentions to use ICT for teaching and learning                | Valtonen et al.                                 | 2015       | Computers and Education   | 67             | Propor diretrizes para o desenvolvimento das habilidades dos professores em formação frente as demandas da Indústria 4.0   |
| Exploring adaptive teaching competencies in big data era  | Huda et al.                                     | 2017       | International Journal of Emerging Technologies in Learning          | 65             | Criar e validar um software de ensino utilizando o Big Data e a Aprendizagem Adaptiva  |
| Integrating augmented reality technology to enhance children's learning in marine education   | Lu e Liu  | 2015       | Environmental Education Research                                    | 65             | Combinar tecnologias da I4.0 com jogos virtuais para propor modelos de ensino inovadores em aulas de ciências e ecologia   |
| A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training  | Jensen e Konradsen                              | 2018       | Education and Information Technologies                              | 64             | Identificar as melhores práticas para aplicar as tecnologias da Indústria 4.0, considerando os resultados qualitativos e quantitativos em um ambiente educacional      |
| A Social Virtual Reality Based Construction Safety Education System for Experiential Learning   | Le, Pedro e Park                                | 2015       | Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications | 63             | Aplicar tecnologias de realidade virtual e realidade aumentada para treinamentos na área de construção civil   |
| How the ICT development level and usage influence student achievement in reading, mathematics, and science                                    | Skryabin et al.                                 | 2015       | Computers and Education   | 63             | Examinar os efeitos da aplicação de diferentes TIC no desempenho acadêmico dos alunos e a direção destes efeitos   |
| Exploring learner acceptance of the use of virtual reality in medical education: a case study of desktop and projection-based display systems | Huang, Liaw e Lai                               | 2016       | Interactive Learning Environments                                   | 59             | Analisar a experiência dos alunos nos tópicos de presença, imersão e nível de interação durante a utilização de ferramentas de realidade virtual no ensino de medicina |

**APÊNDICE A – OS 30 ARTIGOS MAIS CITADOS SOBRE EDUCAÇÃO E AS  
TECNOLOGIAS DA I4 NO PERÍODO DE 2015 A 2019**

| (conclusão)   |                       |            |  |                |  |
|---|-----------------------|------------|--|----------------|--|
| <b>Título</b>   | <b>Autores</b>        | <b>Ano</b> | <b>Jornal</b>  | <b>Citação</b> | <b>Oportunidade</b>  |
| Becoming more specific: Measuring and modeling teachers' perceived usefulness of ICT in the context of teaching and learning  | Scherer, Siddiq e Teo | 2015       | Computers and Education  | 58             | Desenvolver modelos teóricos sobre a aceitação do uso de tecnologias educacionais e sua utilidade baseados na opinião de professores                                       |
| Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions   | Chang e Hwang         | 2018       | Computers and Education  | 53             | Investigar os resultados da utilização de diferentes tecnologias e estratégias de ensino em conjunto com a sala de aula invertida e os impactos na aprendizagem dos alunos |
| Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education   | Alhalabi              | 2016       | Behaviour and Information Technology                           | 53             | Examinar e comparar os resultados da aplicação da realidade virtual no ensino de diferentes tópicos e matérias e seu impacto na aprendizagem dos alunos                    |
| Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education  | Popenici e Kerr       | 2017       | Research and Practice in Technology Enhanced Learning          | 52             | Examinar os impactos e responsabilidades dos professores na aplicação da inteligência artificial no ensino superior  |
| Business intelligence and big data in higher education: Status of a multi-year model curriculum development effort for business school undergraduates, MS graduates, and MBAs | Gupta, Goul e Dinter  | 2015       | Communications of the Association for Information Systems      | 52             | Desenvolver modelos de currículo para o ensino superior adaptadas as novas tecnologias e áreas importantes no mercado de trabalho  |
| The skinny on big data in education: Learning analytics simplified  | Reyes                 | 2015       | TechTrends   | 51             | Propor um framework com diretrizes para atividades de análise de aprendizagem  |
| A survey of artificial intelligence techniques employed for adaptive educational systems within e-learning platforms  | Almohammadi et al.    | 2017       | Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research | 48             | Desenvolver algoritmos de inteligência artificial focados em sistemas educacionais adaptativos   |
| Cloud computing adoption by higher education institutions in Saudi Arabia: An exploratory study   | Tashkandi, Al-Jabri   | 2015       | Cluster Computing  | 48             | Investigar os fatores que impactam a adoção de tecnologias de computação em nuvem em instituições de educação superior   |

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PROFESSOR

Identificação das demandas e oportunidades dos docentes em relação a utilização das tecnologias da Indústria 4.0 no processo de ensino-aprendizagem nos cursos de Graduação em Engenharia de Produção.

### 1. Gênero \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Feminino
- Masculino
- Não desejo informar
- Outro: \_\_\_\_\_

### 2. Idade \*

\_\_\_\_\_

### 3. Identifique a principal universidade em que você mais atua como docente \*

*Marcar apenas uma oval.*

- UNESP
- USP
- UERJ
- UFF
- UNITAU
- UNISAL
- UNIFEI

### 4. Há quanto tempo você atua como docente em Engenharia de Produção ? \*

\_\_\_\_\_

5. Qual área da Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) está mais relacionada com a disciplina que você ministra nos cursos de graduação em Engenharia de Produção? Em caso de mais de uma, favor assinalar. \*

*Marque todas que se aplicam.*

- Engenharia de Operações e Processos da Produção
- Cadeia de Suprimentos
- Pesquisa Operacional
- Engenharia da Qualidade
- Engenharia do Produto
- Engenharia Organizacional
- Engenharia Econômica
- Engenharia do Trabalho
- Engenharia da Sustentabilidade
- Educação em Engenharia de Produção

Em relação a atual plataforma de tecnologia educacional utilizada pela sua universidade, indique o quanto você concorda (ou discorda) com as afirmações a seguir:

**Obs.:** Entende-se por plataforma de tecnologia educacional o ambiente virtual para dispositivo móvel ou website disponibilizado oficialmente pela universidade para viabilizar o ensino à distância, realização de atividades práticas educacionais e exercícios, que foi desenvolvida pela própria universidade ou contratada de uma empresa terceira.

6. A plataforma de tecnologia educacional utilizada pela sua universidade atende às suas necessidades educacionais \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente
- Concordo
- Neutro
- Discordo
- Discordo Completamente

7. Você recebeu treinamento para utilizar a plataforma de tecnologia educacional da sua universidade \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

8. A plataforma de tecnologia educacional utilizada pela sua universidade pode ser melhorada para tornar-se mais intuitiva, robusta e personalizada \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

9. A plataforma de tecnologia educacional possui uma versão para dispositivo móvel (app) disponível para alunos e professores ? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não

Em relação utilização de tecnologias para o ensino, indique o quanto você concorda (ou discorda) com as afirmações a seguir:

10. Com base na sua experiência docente, você acredita que utilizar tecnologias educacionais contribui ou pode contribuir para melhoria do processo de ensino-aprendizagem nos cursos de Engenharia de Produção \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

11. Você emprega tecnologias educacionais em suas aulas para motivar e engajar alunos com o conteúdo ensinado \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

Em relação à infraestrutura e suporte tecnológico da sua universidade, indique o quanto você concorda (ou discorda) com as afirmações a seguir:

**Obs.:** Entende-se por infraestrutura tecnológica os laboratórios com computadores, tablets, Internet etc e como suporte técnico o serviço de TI oferecido pela universidade presencialmente ou a distância.

12. A infraestrutura tecnológica da sua universidade atende as suas demandas de ensino \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

13. A infraestrutura tecnológica da sua universidade está em bom estado para as suas atividades de ensino \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

14. O suporte técnico é fornecido adequadamente quando você enfrenta dificuldades na utilização da plataforma de tecnologia educacional \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                                 | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente | Nunca utilizei        |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Atendimento Presencial          | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |
| Atendimento Remoto por e-mail   | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |
| Atendimento Remoto por telefone | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |

15. O suporte técnico é capaz de sanar adequadamente problemas técnicos relacionados ao funcionamento da plataforma de tecnologia educacional \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

16. No campus da sua universidade é disponibilizado acesso à Internet adequado as suas demandas e necessidades em relação ao ensino \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente
- Concordo
- Neutro
- Discordo
- Discordo Completamente

17. Em relação à segurança e privacidade de dados, você confia na forma como as suas informações são armazenadas e protegidas pela sua universidade em seu banco de dados \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente
- Concordo
- Neutro
- Discordo
- Discordo Completamente

Um breve resumo das principais tecnologias da I4 que serão analisadas neste questionário.

A **Realidade Aumentada** possibilita que objetos virtuais sejam visualizados em vídeos no ambiente real por meio de câmeras de tablets ou smartphones. Ela pode ser aplicada para simulações de atividades práticas de diversas áreas como física, engenharia e arquitetura.

A **Realidade Virtual** proporciona a imersão dos alunos em um ambiente virtual para realização do ensino de maneira mais interativa. Ela pode ser usada para simular práticas experimentais que são difíceis de reproduzir devido a questões de segurança e/ou custo.

A **Computação em Nuvem** fornece o serviço de armazenamento e gerenciamento de arquivos em rede. A tecnologia permite que seus usuários acessem de forma simples o seu conteúdo a qualquer momento e em qualquer lugar. São exemplos de aplicativos em nuvem: Google Drive, Dropbox e OneDrive

O **Big Data** permite a análise de grande quantidade de dados com objetivo de apoiar a tomada de decisão em diversas áreas da sociedade. Na educação, o BD pode ser usado para analisar padrões no desempenho acadêmico ao longo do período letivo e, com isso, descobrir alunos em risco de reprovação e possibilitar que professores realizem ações personalizadas no ensino para esses alunos.

A **Inteligência Artificial** é uma tecnologia que está sendo amplamente aplicada para analisar dados e realizar o processo de tomada de decisão. No ensino, essa solução está sendo usada para complementar o papel dos professores e auxiliar os alunos no processo ensino-aprendizagem. A IA possibilita que os professores personalizem o conteúdo para cada aluno a partir da análise dos seus pontos fortes e fracos.

**Avalie o uso de cada tecnologia da I4 para as afirmativas a seguir:**

**Obs.: Procure diferenciar o nível de resposta para as tecnologias que podem trazer mais melhorias e resultados para a Engenharia de Produção**

18. Você já utiliza alguma das seguintes tecnologias relacionadas à I4 no processo de ensino-aprendizagem? Em caso de outras, favor especificar.

*Marque todas que se aplicam.*

- Realidade Aumentada
- Realidade Virtual
- Big Data
- Computação em Nuvem
- Inteligência Artificial

Outro:  \_\_\_\_\_

19. Em relação a utilização dessas tecnologias, você acreditar ter o conhecimento necessário para empregá-las no processo de ensino-aprendizagem \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

20. Em relação a utilização dessas tecnologias, você acredita que sua universidade forneceria o treinamento adequado para empregá-las no processo de ensino-aprendizagem \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

21. Em relação a utilização dessas tecnologias, você acredita que sua universidade possui os recursos tecnológicos necessários para empregá-las no ensino de Engenharia de Produção \*

Marcar apenas uma oval por linha.

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

22. Com base nas definições acima, a utilização das seguintes tecnologias da I4 pode contribuir para a melhoria do ensino de Engenharia de Produção. \*

Marcar apenas uma oval por linha.

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

23. Com base em sua experiência docente, utilizar as seguintes tecnologias da I4 tem potencial de aumentar o engajamento dos discentes com conteúdo ensinado \*

Marcar apenas uma oval por linha.

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

24. Com base nas definições acima e na sua experiência docente, quais das seguintes tecnologias da I4 você considera que possam ser utilizadas sem muita complexidade no ensino de Engenharia de Produção \*

Marcar apenas uma oval por linha.

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

25. Com base nas definições acima, as seguintes tecnologias da I4 são factíveis de aplicação no ensino de Engenharia de Produção \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

26. Com base na sua experiência docente e nas potenciais contribuições dessas tecnologias para o ensino-aprendizagem, quais delas você estaria disposto a aprender a utilizar \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

27. Em relação às seguintes tecnologias, quais delas você tem a intenção de utilizar em suas aulas no curto ou médio prazo \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo<br>Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo<br>Completamente |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Big Data                | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |

#### Comentários finais

28. Com base nas tecnologias abordadas neste questionário, quais são as principais dificuldades ou entraves para que você as utilize em suas aulas?

---



---

29. Você tem alguma sugestão que possa viabilizar ou facilitar a integração dessas tecnologias no processo ensino-aprendizagem ?

---



---



---



---



---

## APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO ALUNOS

Identificação das demandas e oportunidades dos discentes em relação a utilização das tecnologias da Indústria 4.0 no processo de ensino-aprendizagem nos cursos de Graduação em Engenharia de Produção.

### 1. Gênero \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Feminino
- Masculino
- Não desejo informar
- Outro: \_\_\_\_\_

### 2. Idade

\_\_\_\_\_

### 3. Identifique qual é a sua universidade \*

*Marcar apenas uma oval.*

- UNESP
- USP
- UERJ
- UFF
- UNITAU
- UNISAL
- UNIFEI

### 4. Qual período está cursando? \*

Em relação a atual plataforma de tecnologia educacional utilizada pela sua universidade, indique o quanto você concorda (ou discorda) com as afirmações a seguir:

**Obs.:** Entende-se por plataforma de tecnologia educacional o ambiente virtual para dispositivo móvel ou website disponibilizado oficialmente pela universidade para viabilizar o ensino à distância, realização de atividades práticas educacionais e exercícios, que foi desenvolvida pela própria universidade ou contratada de uma empresa terceira.

5. A plataforma de tecnologia educacional utilizada pela sua universidade atende às suas necessidades de aprendizagem \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

6. Você recebeu treinamento para utilizar a plataforma de tecnologia educacional da sua universidade \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

7. A plataforma de tecnologia educacional utilizada pela sua universidade pode ser melhorada para se tornar mais intuitiva, robusta e personalizada \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente  
 Concordo  
 Neutro  
 Discordo  
 Discordo Completamente

8. A plataforma de tecnologia educacional possui uma versão para dispositivo móvel (app) disponível para alunos e professores ? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

Em relação à infraestrutura e suporte tecnológico da sua universidade, indique o quanto você concorda (ou discorda) com as afirmações a seguir:

**Obs:** Entende-se por infraestrutura tecnológica os laboratórios com computadores, tablets, Internet etc e como suporte técnico o serviço de TI oferecido pela universidade presencialmente ou a distância.

9. A infraestrutura tecnológica da sua universidade atende as suas demandas de aprendizagem \*

*Marcar apenas uma oval.*

Concordo Completamente

Concordo

Neutro

Discordo

Discordo Completamente

10. A infraestrutura tecnológica da sua universidade está em bom estado para as suas atividades de aprendizagem \*

*Marcar apenas uma oval.*

Concordo Completamente

Concordo

Neutro

Discordo

Discordo Completamente

11. O suporte técnico é fornecido adequadamente quando você enfrenta dificuldades na utilização da plataforma de tecnologia aprendizagem \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                                 | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente | Nunca utilizei        |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Atendimento Presencial          | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |
| Atendimento Remoto por e-mail   | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |
| Atendimento Remoto por telefone | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |

12. O suporte técnico é capaz de sanar rapidamente problemas técnicos relacionados ao funcionamento da plataforma de tecnologia educacional \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente
- Concordo
- Neutro
- Discordo
- Discordo Completamente

13. No campus da sua universidade é disponibilizado acesso à Internet adequado as suas demandas e necessidades em relação ao ensino \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente
- Concordo
- Neutro
- Discordo
- Discordo Completamente
- Nunca utilizei

14. Em relação à segurança e privacidade de dados, você confia na forma como as suas informações são armazenadas e protegidas pela sua universidade em seu banco de dados \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Concordo Completamente
- Concordo
- Neutro
- Discordo
- Discordo Completamente

Um breve resumo das principais tecnologias da I4 que serão analisadas neste questionário.

A **Realidade Aumentada** possibilita que objetos virtuais sejam visualizados em vídeos no ambiente real por meio de câmeras de tablets ou smartphones. Ela pode ser aplicada para simulações de atividades práticas de diversas áreas como física, engenharia e arquitetura.

A **Realidade Virtual** proporciona a imersão dos alunos em um ambiente virtual para realização do ensino de maneira mais interativa. Ela pode ser usada para simular práticas experimentais que são difíceis de reproduzir devido a questões de segurança e/ou custo.

A **Computação em Nuvem** fornece o serviço de armazenamento e gerenciamento de arquivos em rede. A tecnologia permite que seus usuários acessem de forma simples o seu conteúdo a qualquer momento e em qualquer lugar. São exemplos de aplicativos em nuvem: Google Drive, Dropbox e OneDrive

O **Big Data** permite a análise de grande quantidade de dados com objetivo de apoiar a tomada de decisão em diversas áreas da sociedade. Na educação, o BD pode ser usado para analisar padrões no desempenho acadêmico ao longo do período letivo e, com isso, descobrir alunos em risco de reprovação e possibilitar que professores realizem ações personalizadas no ensino para esses alunos.

A **Inteligência Artificial** é uma tecnologia que está sendo amplamente aplicada para analisar dados e realizar o processo de tomada de decisão. No ensino, essa solução está sendo usada para complementar o papel dos professores e auxiliar os alunos no processo ensino-

aprendizagem. A IA possibilita que os professores personalizem o conteúdo para cada aluno a partir da análise dos seus pontos fortes e fracos.

**Avalie o uso de cada tecnologia da I4 para as afirmativas a seguir:**

**Obs.: Procure diferenciar o nível de resposta para as tecnologias que podem trazer mais melhorias e resultados para a Engenharia de Produção**

15. Você já utiliza alguma das seguintes tecnologias relacionadas à I4 no seu processo de aprendizagem ?

*Marque todas que se aplicam.*

- Realidade Aumentada  
 Realidade Virtual  
 Big Data  
 Computação em Nuvem  
 Inteligência Artificial

Outro:  \_\_\_\_\_

16. Com base nas definições acima, a utilização das seguintes tecnologias da I4 pode contribuir para a melhoria do seu aprendizado em Engenharia de Produção. \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

17. Com base nas definições acima, utilizar as seguintes tecnologias da I4 tem potencial de aumentar o seu engajamento com conteúdo ensinado \*

Marcar apenas uma oval por linha.

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

18. Com base nas definições acima, quais das seguintes tecnologias da I4 você considera que possam ser utilizadas sem muita complexidade no ensino de Engenharia de Produção \*

Marcar apenas uma oval por linha.

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo Completamente | Discordo              |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> |

19. Com base nas definições acima, as seguintes tecnologias da I4 são factíveis de aplicação no ensino de Engenharia de Produção \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

20. Em relação às seguintes tecnologias, quais delas você gostaria de utilizar nas suas aulas \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

21. Em relação a utilização dessas tecnologias, você acredita que os seus professores teriam habilidades suficientes para utiliza-las no processo de ensino-aprendizagem \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

|                         | Concordo Completamente | Concordo              | Neutro                | Discordo              | Discordo Completamente |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Realidade Aumentada     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Realidade Virtual       | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Big Data                | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Computação em Nuvem     | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |
| Inteligência Artificial | <input type="radio"/>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>  |

Comentários finais

22. Com base nas tecnologias abordadas neste questionário, quais são as principais dificuldades ou entraves para que você as utilize em suas aulas?

---



---



---



---



---

23. Você tem alguma sugestão que possa viabilizar ou facilitar a integração dessas tecnologias no processo ensino-aprendizagem ?

---



---



## APÊNDICE C – IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS REUNIDAS NA I4

(conclusão)

| Autores                                  | IoT       | CPS       | CC        | BDA       | TIC       | IoS       | IA        | RV        | VA        | Robótica  | Blockchain | Impressora 3D | RFID e sensores | CPPS     | 5G       | Digital Twin | Cybersecurity | Simulação |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|---------------|-----------------|----------|----------|--------------|---------------|-----------|
| Moeuf et al. (2018)                      | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           |           |           | ✓         |           | ✓         |            |               | ✓               |          |          |              | ✓             |           |
| Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           |           |           |           |           |            |               | ✓               |          |          |              |               |           |
| Li et al. (2017)                         | ✓         |           | ✓         | ✓         | ✓         |           | ✓         |           |           | ✓         |            |               | ✓               |          | ✓        |              |               |           |
| Dalenogare et al. (2018)                 | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           |           |           |           |            | ✓             | ✓               |          |          |              |               |           |
| Ivanov, Dolgui e Sokolov (2019)          | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           |           |           | ✓         | ✓         | ✓         | ✓          | ✓             | ✓               |          |          |              |               | ✓         |
| Li (2018)                                | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           |           | ✓         |            | ✓             | ✓               |          |          |              |               |           |
| Ghobakhloo (2018)                        | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           | ✓         |           |           | ✓         | ✓         | ✓          | ✓             | ✓               |          |          | ✓            | ✓             | ✓         |
| Müller, Buliga e Voigt (2018)            | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           | ✓         |           |           |           |            |               | ✓               | ✓        |          |              |               | ✓         |
| Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018)    | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           |           | ✓         | ✓         | ✓         |            | ✓             | ✓               |          |          | ✓            | ✓             | ✓         |
| Müller, Kiel e Voigt (2018)              | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           | ✓         |           |           | ✓         |            |               |                 |          |          |              |               | ✓         |
| Rojko (2017)                             | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           | ✓         |           | ✓         | ✓         |            | ✓             | ✓               |          |          |              |               | ✓         |
| Lopes de Sousa Jabbour et al. (2018)     | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           |           |           |           |           |            | ✓             | ✓               |          |          |              |               | ✓         |
| Zheng et al. (2018)                      | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |            | ✓             | ✓               | ✓        |          | ✓            | ✓             | ✓         |
| Pereira e Romero (2017)                  | ✓         | ✓         | ✓         | ✓         |           | ✓         |           |           | ✓         | ✓         |            |               | ✓               | ✓        |          |              |               |           |
| <b>Frequência</b>                        | <b>29</b> | <b>29</b> | <b>29</b> | <b>27</b> | <b>20</b> | <b>10</b> | <b>15</b> | <b>10</b> | <b>12</b> | <b>22</b> | <b>4</b>   | <b>14</b>     | <b>28</b>       | <b>8</b> | <b>5</b> | <b>6</b>     | <b>10</b>     | <b>9</b>  |