



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DO  
CONHECIMENTO

Ricardo Alexandre Diogo

**Modelo Conceitual para Formulação de Diretrizes Estratégicas na Concepção e  
Atualização de Cursos de Engenharia no Contexto da Transformação Digital**

Florianópolis  
2023

Ricardo Alexandre Diogo

**Modelo Conceitual para Formulação de Diretrizes Estratégicas na Concepção e Atualização de Cursos de Engenharia no Contexto da Transformação Digital**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento  
Orientador: Prof. Neri dos Santos, Dr.  
Coorientador: Prof. Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Diogo, Ricardo Alexandre  
Modelo conceitual para formulação de diretrizes  
estratégicas na concepção e atualização de cursos de  
engenharia no contexto da Transformação Digital / Ricardo  
Alexandre Diogo ; orientador, Neri dos Santos,  
coorientador, Eduardo de Freitas Rocha Loures, 2023.  
222 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia e Gestão do Conhecimento, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia e Gestão do Conhecimento. 2. Educação em  
Engenharia. 3. Smart Education. 4. Tecnologias  
Educativas. 5. Diretrizes Estratégicas. I. dos Santos,  
Neri. II. Loures, Eduardo de Freitas Rocha. III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento. IV. Título.

Ricardo Alexandre Diogo

**Modelo Conceitual para Formulação de Diretrizes Estratégicas na Concepção e Atualização de Cursos de Engenharia no Contexto da Transformação Digital**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Roberto Carlos dos Santos Pacheco, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Denilson Sell, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Vanderli Fava de Oliveira, Dr.  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof.(a) Tatiana Louise Avila de Campos Rocha, Dr.(a)  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento.

---

Prof. Roberto Carlos dos Santos Pacheco, Dr.  
Coordenador do Programa

---

Prof. Neri dos Santos, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2023.

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe, a minha querida mãe, a minha querida avó (*in memoriam*), a minha amada esposa e ao meu amado filho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família. Especialmente a minha esposa, Rossana, pelo apoio durante esses anos de doutoramento, compreendendo as ausências por viagens a trabalho e estudos e as incontáveis horas dedicadas a esta pesquisa. Amo você imensamente! E agradeço ao meu filho, que veio ao mundo na reta final do doutorado com seu sorriso contagiante. Mesmo sem saber, o Vicente acabou colocando mais pressão para que os resultados desta tese aparecessem. Obrigado por isso, filho! Também agradeço imensamente a minha amada Mãe que sempre incentivou minha carreira acadêmica, lutando por uma vaga em escola pública de qualidade. Tenha certeza de que o seu esforço me trouxe até onde estou. Não poderia esquecer de agradecer a minha avó (*in memoriam*). Boa parte da pessoa que me tornei hoje veio da educação e cuidados da “vovó” Gertrudes.

De forma geral, gostaria de agradecer aos demais membros da família e amigos (muitos considerados como membros da família também) pela compreensão de quando não pude estar presente nos eventos e pelas mensagens de apoio.

Também agradeço aos amigos do grupo de pesquisa InKSys 4.0 pelas horas de parceria, praticamente todas a distância, mas sempre com excelentes contribuições sobre o desenvolvimento desta tese e das demais pesquisas dos colegas. Especialmente ao Armando, parceiro das quase 40 viagens de Curitiba a Florianópolis, tornando-se um especial amigo. Também ao Ricardo Pereira, que sempre nos ajuda com as metodologias de pesquisa e na busca por artigos e outras publicações.

Um agradecimento muito especial é dedicado ao meu orientador e mentor, Prof. Dr. Ing. Neri dos Santos, que acreditou no meu potencial desde que foi decano na Escola Politécnica da PUCPR, quando descobriu que eu ainda não tinha o título de doutor, me incentivou sempre ao ingresso no EGC. O Prof. Neri, além de ter sido chefe e hoje ser orientador, é um especial amigo com um coração enorme, sempre disposto a ajudar. É uma pessoa sábia e preparada a abrir portas para seus orientandos. Prof. Neri, muito obrigado!

Não poderia deixar de agradecer também ao meu coorientador, Prof. Dr. Eduardo Loures. Outra pessoa de coração gigante que acreditou no meu potencial, viabilizando minha contratação como docente na PUCPR, onde hoje somos também colegas de trabalho. Mas também agradeço pela amizade cultivada ao longo desses anos.

Obviamente, agradecimentos especiais aos amigos da PUCPR, Anderson Szejka, Emerson Donaisky, Roberto Zanetti e Rodrigo Pierezan pela parceria profissional e companhia nos eventos fora do ambiente de trabalho. Além disso, vocês foram fundamentais nos momentos

de troca de horários, para que eu pudesse realizar as viagens para cumprir com os créditos do doutorado. Também agradeço aos demais docentes e funcionários do curso de Engenharia Mecatrônica, Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Produção, pois boa parte dos resultados desta tese vem da experiência do trabalho com vocês.

Também quero agradecer à Profa. Andreia Malucelli, enquanto foi decana da Escola Politécnica, e durante a finalização deste trabalho, Pró-Reitora de Operações Acadêmicas, por permitir que o Projeto Institucional de Modernização (PIM) da Engenharia de Controle e Automação fosse vinculado a esta tese, permitindo que ela fosse concluída.

Também agradeço a CAPES, ao CNE, a Comissão Fulbright Brasil, a ABENGE e a Embaixada dos EUA, por meio do Programa de Modernização da Graduação (PMG), processo Nº 88881.302193/2018-01. Também agradeço aos representantes e funcionários dessas instituições por fazer o PMG acontecer. As missões de trabalho realizadas nos anos de 2019 e 2022 foram fundamentais para a presente tese. Obviamente, agradecimentos aos representantes dos PIMs do SENAI-CIMATEC, da UFRGS, UFRJ, UFSCar, UNIFEI, UNISINOS e USP pela parceria. A troca de ideias também abriu muitos caminhos para o meu trabalho. Ainda no âmbito do PMG, agradecimentos às professoras Jennifer Amos, Mary Besterfield-Sacre, Robin Adams e Stephanie Adams pelas consultorias durante a pandemia, que culminaram em valiosos *insights* para este trabalho.

Agradecimentos especiais também devem ser dados ao PPGEGC da UFSC, por me permitir participar do programa de doutoramento e pelas oportunidades deste o meu ingresso no. Agradeço aos professores do EGC pelos ensinamentos e aos funcionários da Secretaria pelo cordial apoio de sempre.

Também agradeço aos membros da banca, professores doutores Vanderli Fava de Oliveira, Tatiana Louise Avila de Campos Rocha, Roberto Carlos dos Santos Pacheco e Denilson Sell pelas valiosas contribuições para a melhoria deste projeto.

Finalmente, mas não menos importante, gostaria de agradecer a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por me dar forças e fé para a conclusão deste trabalho.

The scientific man does not aim at an immediate result. He does not expect that his advanced ideas will be readily taken up. His work is like that of the planter - for the future. His duty is to lay the foundation for those who are to come, and point the way. He lives and labors and hopes. (TESLA, 1934)

## RESUMO

O fenômeno da Transformação Digital tem trazido novos desafios e oportunidades para a Sociedade. Ao mesmo tempo em que os setores da economia são beneficiados pela adoção das tecnologias para a Indústria 4.0 e Sociedade 5.0, as empresas demandam profissionais competentes para aplicar conhecimento com habilidades profissionais, atitudes e valores pessoais. A Educação 4.0 seria a solução para formar profissionais qualificados, mas as instituições de Educação Superior têm avançado lentamente frente às inovações tecnológicas da Transformação Digital. E, particularmente, a Educação em Engenharia atual não permite aos estudantes adquirirem as competências necessárias para enfrentar os desafios e as oportunidades da Transformação Digital. Neste cenário, verifica-se a falta de planejamento ou a inadequação dele para a formação de engenheiros competentes. Isso é decorrência da inexistência de modelos com estratégias eficazes que guiem os cursos de engenharia. Sendo assim, o problema de pesquisa se define em como apoiar estrategicamente as escolas de engenharia a formar competências nos estudantes que estejam alinhadas às atuais necessidades impostas pela Transformação Digital. Algumas universidades estão promovendo a modernização de seus programas de engenharia por meio de iniciativas próprias ou por ações em cooperação, como é o caso do Programa Brasil-EUA de Modernização da Educação Superior na Graduação, financiado pela CAPES, Comissão Fulbright Brasil e Embaixadas dos Estados Unidos, com apoio do Conselho Nacional de Educação. Apesar das novas Diretrizes Curriculares Nacionais terem sido aprovadas em 2019, os cursos de engenharia ainda carecem de ferramentas apropriadas para a formação de competências alinhadas às demandas da Indústria 4.0 e Sociedade 5.0. Portanto, o objetivo deste trabalho é propor um modelo conceitual para a formulação de diretrizes estratégicas na concepção e atualização de cursos de engenharia de acordo com o cenário da Transformação Digital, que possa ser utilizado como referência por escolas de engenharia. A abordagem de pesquisa é de natureza aplicada, com paradigma pluralista e pragmático, acompanhada de definições fundamentais sobre as Tecnologias Educacionais e sobre a *Smart Education*, pilares que sustentam a Educação em Engenharia moderna. Quanto ao método, trata-se de uma pesquisa quali-quantitativa, envolvendo uma exaustiva revisão sistemática da literatura e aplicação de questionário e entrevistas com especialistas na Educação em Engenharia. Quanto à abordagem metodológica, ela é prescritiva e baseada na *Design Science Research*, com o objetivo de produzir um modelo conceitual para formulação de diretrizes estratégicas. A DSR foi apoiada pelo *Lightweight CommonKADS* para modelar o conhecimento organizacional, com vistas à construção do modelo conceitual. A validação do modelo conceitual se deu por meio de sua implementação em uma plataforma computacional, gerando um artefato tecnológico, que foi apresentado aos grupos focais formados por especialistas em Educação em Engenharia. Com auxílio de questionários, os especialistas puderam responder às questões quanto a viabilidade e consistência do artefato. Os resultados mostraram que o modelo conceitual é viável e consistente. Além disso, pode ser usado como modelo ou referência para outras escolas de engenharia.

**Palavras-chave:** Modelo Conceitual. Artefato Tecnológico. Diretrizes Estratégicas. Educação em Engenharia. Tecnologias Educacionais. *Smart Education*, *Design Science Research*, *Lightweight CommonKADS*.

## ABSTRACT

The phenomenon of Digital Transformation has brought new challenges and opportunities to society. While sectors of the economy benefit from adopting technologies for Industry 4.0 and Society 5.0, companies require competent professionals who can apply knowledge with professional skills, attitudes, and personal values. Education 4.0 would be the solution to train qualified professionals. Still, higher education institutions need to be faster to advance in the face of the technological innovations of Digital Transformation, especially in Engineering Education. And notably, current Engineering Education needs to allow students to acquire the necessary competencies to face the challenges and opportunities of Digital Transformation. There needs to be more planning for training competent engineers in this scenario. This is due to the need for more models with practical strategies that guide engineering programs. Therefore, the research problem is how to strategically support engineering schools to form skills in students aligned with the needs imposed by Digital Transformation. Some universities are promoting the modernization of their engineering programs through their own initiatives or cooperative actions, such as the Brazil-USA Program for the Modernization of Higher Education in Undergraduate Programs, funded by CAPES, Fulbright Commission Brazil, and the United States Embassies, with the support of the National Council of Education. However, despite the new National Curriculum Guidelines approved in 2019, engineering programs still need appropriate tools for developing competencies aligned with the demands of Industry 4.0 and Society 5.0. Therefore, this work proposes a conceptual model for formulating strategic guidelines in designing and updating engineering programs according to the Digital Transformation scenario, which can be used as a reference by engineering schools. The research approach is applied, with a pluralistic and pragmatic paradigm, accompanied by fundamental definitions of Educational Technologies and Smart Education, pillars supporting modern Engineering Education. The method is qualitative-quantitative research involving an exhaustive systematic literature review and the application of questionnaires and interviews with experts in Engineering Education. The methodological approach will be prescriptive and based on Design Science Research, aiming to produce an artifact that will be the conceptual model for formulating strategic guidelines. Lightweight CommonKADS will support DSR to model organizational knowledge to construct the conceptual model. The artifact was validated through its implementation on a computational platform, generating a functional prototype presented to focus groups composed of experts in Engineering Education. With the help of questionnaires, experts could answer questions regarding the feasibility and consistency of the artifact. The results showed that the conceptual model is feasible and consistent and can be used as a model or reference for other engineering schools.

**Keywords:** Conceptual Model. Technological Artifact. Strategic Guidelines, Engineering Education, Educational Technologies, Smart Education, Design Science Research, Lightweight CommonKADS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Os 9 pilares da Indústria 4.0.....	19
Figura 2. Modelo educacional para o horizonte de 2030 (OECD).....	21
Figura 3. “A corrida entre tecnologia e educação” (OECD). ....	26
Figura 4. Nuvem de palavras-chave encontradas nas publicações dos artigos alinhados. ....	44
Figura 5. Matriz SWOT para Tecnologia Educacional. ....	47
Figura 6. Matriz SWOT para a Educação em Engenharia. ....	57
Figura 7. Projeto ELLI2. ....	60
Figura 8. Definição para <i>Smart Education</i> . ....	67
Figura 9. Smart Education. ....	69
Figura 10. Três dimensões para a Smart Education. ....	70
Figura 11. Framework para arquitetura de cursos de aprendizagem inteligentes para ensino superior. ....	71
Figura 12. Framework da aprendizagem híbrida inteligente para alavancar a Educação 4.0. .	72
Figura 13. Considerações dos stakeholders para a <i>Smart Education</i> . ....	72
Figura 14. Painel de desempenho do estudante em um Smart Learning Analytics.....	74
Figura 15. Painel de análise do professor em um <i>Smart Learning Analytics</i> .....	74
Figura 16. Arquitetura de um sistema de <i>Smart Learning Analytics</i> para uma <i>Smart University</i> . .....	75
Figura 17. Matriz SWOT para a <i>Smart Learning</i> .....	76
Figura 18. A Educação em Engenharia suportada pelas Tecnologias Educacionais e a <i>Smart Education</i> . ....	83
Figura 19. Procedimento metodológico proposto para a Pesquisa. ....	89
Figura 20. DSR para modelo de concepção de cursos de engenharia. ....	92
Figura 21. Fluxo da pesquisa para a RSL. ....	93
Figura 22. Relacionamento dos modelos presentes nos níveis de contexto e conceito do CommonKADS. ....	96
Figura 23. A metodologia <i>Lightweight CommonKADS</i> . ....	96
Figura 24. Comunicação entre os agentes da Tarefa N01 – aplicar Sala de Aula Invertida. .	103
Figura 25. Estrutura de inferência do CommonKADS.....	104
Figura 26. Exemplo de inferência em uma aula de um curso de engenharia. ....	105
Figura 27. Exemplo de método de tarefa.....	106

Figura 28. Distribuição dos participantes da pesquisa por país.....	109
Figura 29. Distribuição dos participantes da pesquisa por ocupação.....	110
Figura 30. “A Educação em Engenharia é suportada por Tecnologias Educacionais e <i>Smart Education</i> .” .....	111
Figura 31. Sentenças sobre <i>Smart Education</i> . .....	112
Figura 32. Grau de importância de características da <i>Smart Education</i> para a Educação em Engenharia.....	113
Figura 33. Grau de importância de características da <i>Smart Education</i> sobre a formação de competências para a Transformação Digital. ....	114
Figura 34. Grau de importância de características de Tecnologias Educacionais para a Educação em Engenharia.....	115
Figura 35. Grau de importância de características da Educação em Engenharia sobre a formação de competências para a Transformação Digital.....	116
Figura 36. Premissas importantes para o artefato.....	118
Figura 37. Requisitos não-funcionais estruturais para o artefato. ....	119
Figura 38. Requisitos não-funcionais de uso para o artefato.....	120
Figura 39. Requisitos não-funcionais de gestão para o artefato.....	120
Figura 40. Requisitos não-funcionais relativos ao meio para o artefato. ....	121
Figura 41. Recorte do mapa conceitual para projeto de artefato seguindo a DSR e o <i>DScaffolding</i> . .....	122
Figura 42. Estrutura Organizacional de um Curso de Engenharia. ....	125
Figura 43. Processo para Concepção ou Atualização de um Curso de Engenharia. ....	125
Figura 44. UML de dependência e fluxo.....	130
Figura 45. Diagrama de Classe dos objetos manipulados. ....	131
Figura 46. Comunicação entre os agentes da “Tarefa Nx – Definir diretrizes estratégicas”. ....	135
Figura 47. Inferência Analisar do Modelo Conceitual. ....	136
Figura 48. Inferência Desenvolver Competências do Modelo Conceitual.....	136
Figura 49. Inferência Medir do Modelo Conceitual.....	137
Figura 50. Método de Tarefa do Modelo Conceitual para Formulação de Diretrizes Estratégicas. ....	137
Figura 51. Página inicial do artefato tecnológico implementado a partir do modelo conceitual. ....	141
Figura 52. Representação das funções de entrada e saída dinâmicas e dos conhecimentos de domínio nas bibliotecas de documentos do SFDE (site no SharePoint).....	142

Figura 53. Pastas representando as subclasses da classe <i>Smart Education</i> : propriedades herdadas, ação e propriedade gerada. ....	143
Figura 54. Exemplo para a inferência “Analisar” no SFDE: análise de metodologia de ensino na <i>Smart Education</i> . ....	144
Figura 55. Conhecimento de Domínio “ KB  para Analisar” no SFDE: sugestão de uso da matriz SWOT. ....	144
Figura 56. Fluxo configurado no Power Automate para envio automático de diretrizes estratégicas. ....	145
Figura 57. Inferência “Desenvolver Competências” no SFDE. ....	147
Figura 58. Página Principal para a inferência “Desenvolver Competências” no SFDE. ....	147
Figura 59. Exemplo de um caso de uso relacionado a uma diretriz estratégica formulada. ....	148
Figura 60. Requisitos Funcionais: avaliação do artefato. ....	153
Figura 61. Premissas: avaliação do artefato. ....	154
Figura 62. Requisitos Não-Funcionais de Estrutura: avaliação do artefato. ....	155
Figura 63. Requisitos Não-Funcionais de Uso: avaliação do artefato. ....	156
Figura 64. Requisitos Não-Funcionais de Gestão: avaliação do artefato. ....	157
Figura 65. Requisitos Não-Funcionais de Ambiente: avaliação do artefato. ....	158
Figura 66. Seleção do Banco de Artigos Brutos. ....	195
Figura 67. Eixos para a pesquisa da RSL. ....	196
Figura 68. Seleção de Palavras-Chave para a Educação em Engenharia. ....	197
Figura 69. Filtragens do Banco de Artigos: Filtro do banco de artigos bruto quanto a redundância, Filtragem do banco de artigos bruto não repetidos quanto ao alinhamento do título, Filtro do banco de artigos bruto não repetidos e com título alinhado com o objetivo de pesquisa. ....	208
Figura 70. Filtragens do Banco de Artigos: Filtragem quanto ao alinhamento do artigo integral. ....	209
Figura 71. Organização do banco de artigos bruto no EndNote. ....	211
Figura 72. Citações e participação dos artigos do Banco de Artigos Não Repetidos e Título Alinhado. ....	212
Figura 73. Ponto de corte para a representatividade das publicações em 96%. ....	212
Figura 74. Ranking de artigos que foram submetidos a análise de alinhamento com a pesquisa. ....	216
Figura 75. Critérios e Pesos utilizados no PROTOLIT. ....	217

Figura 76. <i>Pairwise</i> : recorte da planilha de comparação dos critérios utilizados no PROTOLIT. .....	218
Figura 77. Lista_Artigos: recorte da planilha com os dados das publicações selecionadas para ordenação.....	220

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Top 20 Palavras-chave da Revisão Sistemática da Literatura. ....	45
Tabela 2 – Pesos por ocupação dos participantes.....	110
Tabela 3 – Planilha OM-2: aspectos organizacionais.....	124
Tabela 4 – Planilha OM-4: ativos de conhecimento.....	127
Tabela 5 – Planilha TM-1: Processos de Negócio.....	129
Tabela 6 – Planilha AM-1: partes interessadas. ....	133
Tabela 7 – Planilha CM-2: troca de informações.....	139
Tabela 8 – Palavras-Chave por Eixos de Pesquisa e Iterações.....	198
Tabela 9 – Resultados quantitativos para definição dos Banco de Dados (BD). ....	204
Tabela 10 – Banco de Artigos Brutos Preliminar.....	206
Tabela 11 – Escala Saaty de importância relativa. ....	219

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABENGE Associação Brasileira de Educação em Engenharia  
ABET *Accreditation Board for Engineering and Technology*  
AHP *Analytic Hierarchy Process*  
AM-1 Agent Model – 1  
ASEE *American Society for Engineering Education*  
AVA Ambientes Virtuais de Aprendizagem  
BA Banco de Autores  
BPMS *Business Process Management Suite*  
BD Banco de Dados  
BTD-EGC Banco de Teses e Dissertações da Engenharia e Gestão do Conhecimento  
CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
CBL *Challenge-Based Learning*  
CDIO *Conceive, Design, Implement & Operate*  
CM-2 *Communication Model – 2*  
COVID-19 *corona virus disease*  
CNE Conselho Nacional de Educação  
CNI Confederação Nacional da Indústria  
COBENGE Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia  
CPS *Cyber-Physical Systems*  
CR Índice de Consistência  
DCNs Diretrizes Curriculares Nacionais  
DSR *Design Science Research*  
ELLI2 *Excellent Teaching and Learning in Engineering Science*  
ENAAE *European Network for Accreditation of Engineering Education*  
EUA Estados Unidos da América  
GEDC *Global Engineering Deans Council*  
IA Inteligência Artificial  
IES Instituição de Ensino Superior  
IoT *Internet of Things*  
LMS *Learning Management System*  
MOOCs *Massive Online Open Courses*  
NDE Núcleo Docente Estruturante

NPC Novas Palavras-Chave

OECD *Organisation for Economic Co-operation and Development*

OERs *Open Educational Resources*

OM-3 *Organization Model – 3*

OM-4 *Organization Model – 4*

PC Palavras-chave

PjBL *Project-Based Learning*

PMG Programa de Modernização da Graduação

PPC Projeto Pedagógico de Curso

PPGEGC Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento

ProKnow-C *Knowledge Development Process – Constructivist*

PROTOLIT Processo de Tomada de Decisão Multicritério em Revisão Sistemática da Literatura em Pesquisas Científicas

RA Resultado de Aprendizagem

RSL Revisão Sistemática da Literatura

SFDE Sistema para Formulação de Diretrizes Estratégicas

SPOCs *Small private online courses*

SBC Sistema Baseado em Conhecimento

STEAM *Science, Technology, Engineering, Arts, and Maths*

STEM *Science, Technology, Engineering & Maths*

SWOT *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*

TI Tecnologia da Informação

TICs Tecnologias de Informação e Comunicação

TM-1 *Task Model – 1*

TOPSIS *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*

UML Unified Markup Language

WBL *work-based learning*

WEEF *World Engineering Education Forum*

WEF *World Economic Forum*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO FENÔMENO PESQUISADO .....	17
<b>1.1.1</b>	<b>Fenômeno: Transformação Digital .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Sub Fenômeno: Educação 4.0 e a Transformação da Educação em Engenharia 20</b>	
<b>1.1.3</b>	<b>Sub Fenômeno: Modernização da Educação em Engenharia no Brasil.....</b>	<b>23</b>
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA DO MUNDO REAL.....	24
1.3	PARTES INTERESSADAS.....	28
1.4	O PAPEL DA ENGENHARIA DO CONHECIMENTO SOBRE O PROBLEMA DE PESQUISA.....	29
1.5	OBJETIVOS.....	30
<b>1.5.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>30</b>
<b>1.5.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>30</b>
<b>1.5.3</b>	<b>Metodologia e Ferramentas de Suporte à Tese.....</b>	<b>30</b>
1.6	JUSTIFICATIVA, RELEVÂNCIA E INEDITISMO DA PESQUISA.....	31
<b>1.6.1</b>	<b>Justificativa da Pesquisa .....</b>	<b>32</b>
<b>1.6.2</b>	<b>Relevância da Pesquisa .....</b>	<b>34</b>
<b>1.6.3</b>	<b>Ineditismo da Pesquisa .....</b>	<b>36</b>
1.7	ADERÊNCIA AO PPGE GC .....	37
1.8	LIMITAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	40
1.9	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	42
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>44</b>
2.1	ANÁLISE SISTEMÁTICA – CARACTERÍSTICAS DO CORPO DA LITERATURA.....	44
<b>2.1.1</b>	<b>Tecnologia Educacional (<i>Educational Technology</i> ou <i>e-Learning</i>).....</b>	<b>46</b>
<i>2.1.1.1</i>	<i>Forças presentes na Tecnologia Educacional (e-Learning) .....</i>	<i>46</i>
<i>2.1.1.2</i>	<i>Oportunidades oferecidas pela Tecnologia Educacional .....</i>	<i>48</i>

2.1.1.3	<i>Fraquezas encontradas na Tecnologia Educacional</i> .....	51
2.1.1.4	<i>Ameaças encontradas no campo da Tecnologia Educacional</i> .....	53
<b>2.1.2</b>	<b>Educação em Engenharia (<i>Engineering Education</i>)</b> .....	<b>55</b>
2.1.2.1	<i>Forças presentes na Educação em Engenharia</i> .....	57
2.1.2.2	<i>Oportunidades trazidas pela Educação em Engenharia</i> .....	59
2.1.2.3	<i>Fraquezas encontradas na Educação em Engenharia</i> .....	63
2.1.2.4	<i>Ameaças encontradas na Educação em Engenharia</i> .....	64
<b>2.1.3</b>	<b><i>Smart Education</i></b> .....	<b>66</b>
2.1.3.1	<i>Forças presentes na Smart Education</i> .....	75
2.1.3.2	<i>Oportunidades presentes na Smart Education</i> .....	77
2.1.3.3	<i>Fraquezas encontradas na Smart Education</i> .....	79
2.1.3.4	<i>Ameaças encontradas na Smart Education</i> .....	81
2.1.3.5	<i>Observações e Argumentos sobre o Corpo da Literatura</i> .....	83
<b>3</b>	<b>QUESTÕES DE PESQUISA</b> .....	<b>86</b>
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>89</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	89
4.1.1	<b>Quanto à Natureza da Pesquisa</b> .....	<b>90</b>
4.1.2	<b>Quanto ao Paradigma da Pesquisa</b> .....	<b>90</b>
4.1.3	<b>Quanto ao Método de Pesquisa</b> .....	<b>90</b>
4.1.4	<b>Quanto à Abordagem de Pesquisa</b> .....	<b>90</b>
4.2	DESIGN SCIENCE RESEARCH .....	91
4.2.1	<b>Fase 1 – Identificação do Problema</b> .....	<b>91</b>
4.2.2	<b>Fase 2 - Entendimento do Problema</b> .....	<b>93</b>
4.2.3	<b>Fase 3 - Revisão Sistemática da Literatura</b> .....	<b>93</b>
4.2.4	<b>Fase 4 - Identificação de Artefatos e Configuração de Classes de Problemas</b>	<b>94</b>
4.2.5	<b>Fase 5 - Proposta de Artefatos para a Solução de um Problema Específico</b> ..	<b>95</b>
4.2.5.1	<i>Lightweight CommonKADS</i> .....	95

4.2.5.1.1	Aspectos da Organização.....	97
4.2.5.1.2	Ativos de Conhecimento.....	99
4.2.5.1.3	Processos de Negócio .....	100
4.2.5.1.4	Partes Interessadas .....	102
4.2.5.1.5	Inferência .....	103
4.2.5.1.6	Método de Tarefa.....	104
4.2.5.1.7	Troca de Informações .....	105
4.2.5.1.8	Considerações Iniciais sobre a Metodologia <i>Lightweight CommonKADS</i> .....	107
<b>5</b>	<b>PROJETO DO ARTEFATO: O MODELO CONCEITUAL .....</b>	<b>108</b>
5.1	FASE 6 – PROJETO DO ARTEFATO.....	108
<b>5.1.1</b>	<b>Pesquisa Semiestruturada para o Projeto do Artefato .....</b>	<b>109</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Requisitos funcionais para o artefato .....</b>	<b>112</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Premissas para o Artefato.....</b>	<b>117</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Requisitos Não-Funcionais.....</b>	<b>118</b>
5.2	FASE 7 – DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO .....	123
<b>5.2.1</b>	<b>Modelo Conceitual.....</b>	<b>123</b>
5.2.1.1	<i>Aspectos Organizacionais .....</i>	<i>123</i>
5.2.1.2	<i>Aspectos Organizacionais: ativos de conhecimento.....</i>	<i>126</i>
5.2.1.3	<i>Modelo de Tarefa: processos de negócio .....</i>	<i>128</i>
5.2.1.4	<i>Modelo de Agente: partes interessadas.....</i>	<i>133</i>
5.2.1.5	<i>Inferências do Modelo Conceitual.....</i>	<i>135</i>
5.2.1.6	<i>Método de Tarefa do Modelo Conceitual.....</i>	<i>136</i>
5.2.1.7	<i>Modelo de Comunicação: troca de informações.....</i>	<i>138</i>
5.2.1.8	<i>Considerações sobre o Modelo Conceitual.....</i>	<i>140</i>
<b>5.2.2</b>	<b>Implementação do Modelo Conceitual como um Artefato Tecnológico.....</b>	<b>140</b>
5.2.2.1	<i>Sistema de Formulação de Diretrizes Estratégicas (SFDE) .....</i>	<i>141</i>
5.2.2.1.1	Bibliotecas de Documentos do SFDE.....	142

5.2.2.2	<i>Metadados das Bibliotecas de Documentos no SFDE</i> .....	142
5.2.2.3	<i>Inferência “Analisar” no SFDE</i> .....	143
5.2.2.4	<i>Função de Saída/Entrada Dinâmica “Diretrizes Estratégicas” no SFDE</i> .....	145
5.2.2.5	<i>Inferência “Desenvolver Competências” no SFDE</i> .....	146
5.2.2.6	<i>Função de Saída/Entrada dinâmica “Resultados de Aprendizagem” no SFDE</i>	148
5.2.2.7	<i>Inferência “Medir” no SFDE</i> .....	149
5.2.2.8	<i>Função de Saída/Entrada Dinâmica “Plano de Ação” no SFDE</i> .....	149
5.2.2.9	<i>Considerações iniciais sobre o artefato tecnológico</i> .....	149
5.3	<b>FASE 8 – AVALIAÇÃO DO ARTEFATO</b> .....	149
<b>5.3.1</b>	<b>Grupos Focais</b> .....	<b>150</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Limitação para as entrevistas</b> .....	<b>151</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Condução das entrevistas</b> .....	<b>151</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>152</b>
5.3.4.1	<i>Requisitos Funcionais</i> .....	152
5.3.4.2	<i>Premissas</i> .....	154
5.3.4.3	<i>Requisitos Não-Funcionais de Estrutura</i> .....	154
5.3.4.4	<i>Requisitos Não-Funcionais de Uso</i> .....	155
5.3.4.5	<i>Requisitos Não-Funcionais de Gestão</i> .....	157
5.3.4.6	<i>Requisitos Não-Funcionais de Ambiente</i> .....	157
<b>5.3.5</b>	<b>FASE 9 EXPLICITAÇÃO DA APRENDIZAGEM ALCANÇADA</b> .....	<b>159</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>161</b>
6.1	<b>FASE 10 – CONCLUSÕES</b> .....	161
<b>6.1.1</b>	<b>Limitações e Trabalhos Futuros</b> .....	<b>165</b>
6.2	<b>FASE 11 – GENERALIZAÇÃO DE UMA CLASSE DE PROBLEMAS</b> .....	167
6.3	<b>FASE 12 – COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	167
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>170</b>
	<b>GLOSSÁRIO</b> .....	<b>187</b>

<b>APÊNDICE A – Revisão Sistemática da Literatura: detalhamento.....</b>	<b>194</b>
--	------------

## 1 INTRODUÇÃO

A Transformação Digital da educação tem como propósito o uso intensivo de tecnologias digitais para criar – ou modificar os existentes – processos de ensino e de aprendizagem, da cultura e experiências dos estudantes, para atender às demandas da sociedade digital, que está em constante mudança.

De fato, a Transformação Digital tornou-se imperativa para a revisão dos projetos pedagógicos dos cursos de engenharia, conforme prescrevem as Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) desta área de conhecimento (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2019).

Segundo MATKOVIC et al. (2018), “Transformação Digital é o termo mais amplo usado para descrever uma abordagem intensiva para o desenvolvimento eficaz de organizações inteiramente novas, com base em tecnologias digitais, novas ferramentas e melhores práticas de negócios.... Essa transformação é um desafio que as organizações de hoje enfrentam, e as instituições de ensino superior não são exceção”.

Na literatura acadêmica, percebemos que o termo Transformação Digital é, muitas vezes, utilizado de forma equivocada, uma vez que não existem definições formais a respeito. Muitos autores tentaram definir e discutir este conceito (BERMAN, 2012; BHARADWAJ et al., 2013; FITZGERALD et al., 2013; HENRIETTE; FEKI; BOUGHZALA, 2015; HESS et al., 2016; HORLACH et al., 2017; KARAGIANNAKI; VERGADOS; FOUSKAS, 2017; LIERENETHELER; PACKMOHR; VOGELSANG, 2018; LIU; CHEN; CHOU, 2011; LUNAREYES; GIL-GARCIA, 2014; MERGEL; EDELMANN; HAUG, 2019; WESTERMAN, 2016), mas, de fato, não há um consenso. Apesar do termo Transformação Digital ser utilizado já há algum tempo – o termo foi utilizado pela primeira vez em 2000 (PATEL; MCCARTHY; CHAMBERS, 2000) – pois originalmente ele estava vinculado à digitalização, o seu conceito é mais recente e, atualmente, refere-se a um fenômeno relacionado a novos usos dos cidadãos e objetos únicos que impactam diretamente os modelos de negócios, baseados em plataformas digitais. A primeira definição conceitual do termo apareceu no livro “*Information Systems Research: Relevant Theory and Informed Practice*”, publicado pela Springer (STOLTERMAN; FORS, 2004). Segundo esses autores, “a Transformação Digital pode ser entendida como as mudanças que a tecnologia digital causa ou influencia em todos os aspectos da vida humana”. Portanto, entende-se que a educação também é atingida, em especial, a Educação em Engenharia.

A Educação em Engenharia refere-se ao processo de formação de competências nos estudantes de engenharia. Envolve uma combinação de conhecimento teórico, aplicação e experiência prática. Historicamente, os estudantes de engenharia são formados com uma base sólida em matemática, ciências e princípios de engenharia, além de habilidades de solução de problemas e pensamento crítico (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015). A Educação em Engenharia também enfatiza a aprendizagem ao longo da vida e a necessidade dos engenheiros se manterem atualizados com as tendências emergentes e novas tecnologias. Isso ajuda os engenheiros a se adaptarem às demandas mutáveis do campo e a continuar contribuindo de forma eficaz ao longo de suas carreiras. Mas para que a formação seja possível, as escolas de engenharia precisam investir em tecnologias educacionais e adotar modelos para a formação de competências.

As tecnologias educacionais são obrigatórias para a Educação em Engenharia. Elas são aplicadas nos espaços de aprendizagem, mas também como apoio à gestão de cursos, como por exemplo, os ambientes virtuais de aprendizagem (AVA), plataformas para *Business Intelligence* e para *smart leaning analytics* (USKOV et al., 2017b, 2019). Por outro lado, os modelos de formação de competências são as práticas adotadas nos ambientes de aprendizagem. As diversas metodologias baseadas em aprendizagem ativa, como a aprendizagem baseada em projetos (PjBL), a aprendizagem baseada em desafios (CBL) e *hands-on* são alguns exemplos. Contudo, modelos podem ser usados a nível de gestão dos cursos de engenharia para conduzir as atividades acadêmicas-administrativas. A aliança das melhores práticas para a formação de competências com tecnologias educacionais modernas tem sido chamada de *Smart Education* (DNEPROVSKAYA; KOMLEVA; URINTSOV, 2019; GLUKHOV; VASETSKAYA, 2017; MAKAROVA; SHUBENKOVA; ANTOV, 2019; MAKAROVA; SHUBENKOVA; PASHKEVICH, 2018; SEMENOVA et al., 2017).

A *Smart Education* é composta por dimensões organizacional e de tecnologias educacionais (TIKHOMIROV; DNEPROVSKAYA; YANKOVSKAYA, 2015). Para a primeira, deve haver uma estratégia de desenvolvimento da *Smart Education*. Já na segunda, a adoção de ambientes “*smart*”, bem como as tecnologias e materiais “*smart*”. Com isso, a *Smart Education* considera uma terceira dimensão: a de resultados educacionais. Nesta dimensão, o conceito de *Smart Education* propõe a formação de competências em uma nova geração de estudantes e comunidades profissionais interconectadas.

A formação de competências alia as aulas presenciais da Educação em Engenharia com AVAs) para momentos online e à distância, por meio de atividades “*smart*” (MERZON;

IBATULLIN, 2017). Para os encontros presenciais, espera-se que haja a interação ativa entre estudantes e professores e não a mera “transmissão” de conhecimento do professor para estudantes passivos. Conseqüentemente, o ambiente virtual também contém atividades consideradas “*smart*”. Como por exemplo, leituras interativas e imersivas, fóruns de aprendizagem, avaliações inteligentes e um sistema de interação entre os estudantes, os professores e a Sociedade.

Para a integração da Sociedade com os processos da Educação em Engenharia, a *Smart Education* considera que deve haver um sistema híbrido e inteligente (HARTONO et al., 2018). Ou seja, o uso intensivo de tecnologias educacionais para ambientes presenciais e virtuais, que promovam as metodologias baseadas em aprendizagem ativa.

Portanto, percebe-se que o fenômeno da Transformação Digital traz consigo o sub-fenômeno da Educação 4.0 e a transformação da Educação em Engenharia, adotando tecnologias educacionais modernas e a *Smart Education*.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO FENÔMENO PESQUISADO

O **fenômeno** da Transformação Digital tem sido possível graças à crescente inserção de novas tecnologias nos diversos setores econômicos. Pode-se dizer que esse movimento é considerado a 4ª Revolução Industrial, com a inserção dos Sistemas Cyber-Físicos, ou *Cyber-Physical Systems* (CPS), que tem o objetivo de modernizar a indústria, tornando a automação holística com a integração das funções de produção e negócios além das fronteiras da organização (LYDON, 2016). Mas além da Transformação Digital da indústria, há também a Transformação Digital da Sociedade. No primeiro caso, adotou-se o termo Indústria 4.0. Já para o segundo, Sociedade 5.0.

Indústria 4.0 é um termo que se refere à quarta revolução industrial (SCHWAB; MIRANDA, 2019) e se baseia na digitalização e na automação de processos industriais. Isso inclui o uso de tecnologias como inteligência artificial, robótica avançada, internet das coisas (IoT) e análise de big data para tornar as operações industriais mais eficientes e produtivas. Por outro lado, a Sociedade 5.0 se concentra na resolução de problemas sociais por meio do uso de tecnologias avançadas. A Sociedade 5.0 busca integrar tecnologias como IoT, inteligência artificial, robótica e energia renovável para resolver problemas sociais. (PEREIRA; LIMA; CHARRUA-SANTOS, 2020; SUDIBJO; IDAWATI; HARSANTI, 2019; ZENGIN et al., 2021).

Se há notáveis transformações no meio empresarial, na forma de gerir os negócios e na Sociedade, melhorias estão sendo adotadas nos meios produtivos. Entretanto, é necessário capacitar as pessoas para os novos desafios impostos pela Transformação Digital. Uma boa parcela da força de trabalho é composta por engenheiros que necessitam atualizar ou desenvolver competências para promover o avanço da Indústria e da Sociedade. Então, a Educação em Engenharia deve estar alinhada às demandas da Transformação Digital para formar a mão-de-obra do presente e do futuro. Pode-se dizer que o fenômeno da Transformação Digital também provoca a transformação da educação, em especial da Educação em Engenharia. Seria o **sub fenômeno** da Educação 4.0.

### 1.1.1 Fenômeno: Transformação Digital

A Transformação Digital foi o termo adotado pelo governo brasileiro (BRASIL, 2017a). No entanto, a Indústria 4.0 teve origem na Alemanha em 2006 com um plano estratégico para o desenvolvimento de alta tecnologia. Em 2010, esse plano se tornou a “Iniciativa Estratégica de Alta Tecnologia para 2020”. Basicamente, seu objetivo foi definir a visão de uma indústria integrada alavancando a computação, o software e as tecnologias de Internet. Por fim, um relatório final foi produzido com as “Recomendações para a Implementação da Iniciativa Estratégica da Indústria 4.0” (HENNING, KAGERMANN, WOLFGANG, WAHLSTER, JOHANNES, 2013). Nesse relatório, os autores afirmam que a plataforma para a Indústria 4.0 deve promover efetiva transferência de conhecimento entre os *stakeholders* internos e externos em níveis nacional e internacional, bem como a gestão de conhecimento inovadora, com amplo networking.

Outros países também tomaram iniciativas semelhantes. Por exemplo, a China possui a iniciativa “*Made in China 2025*” (WUEBBEKE et al., 2016). O Japão tem a chamada “*Industrial Value Chain Initiative*” (IVI, 2018). Já nos Estados Unidos, há a Aliança de Liderança para a Manufatura Inteligente (SMART MANUFACTURING LEADERSHIP COALITION, 2012). Todas têm o objetivo de alavancar a tecnologia em seus países, não somente na indústria, mas também na saúde, educação, serviços e transportes.

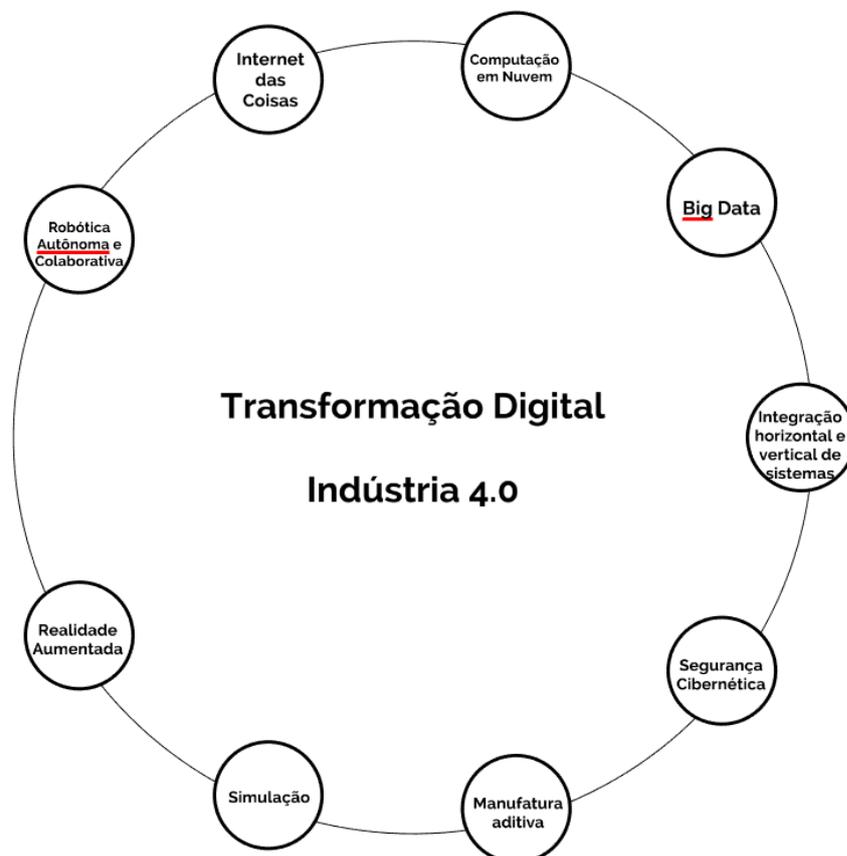
No Brasil, trabalhos efetivos sobre a Transformação Digital iniciaram apenas em 2016, o que resultou no relatório sobre as “Perspectivas de especialistas brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil: um relato de workshops realizados em sete capitais brasileiras em contraste com as experiências internacionais” (BRASIL, 2016). O relatório apontou que um dos maiores

desafios para a convergência e integração tecnológica é a gestão da informação e do conhecimento tecnológico. No ano seguinte, um Grupo de Trabalho Interministerial foi formado, que traçou a “Estratégia brasileira para a Transformação Digital: documento base para discussão pública” (BRASIL, 2017a). Esses dois relatórios se resumem a informar as áreas em que deve haver investimentos para alavancar a Transformação Digital no Brasil.

Independentemente das iniciativas dos países, há um consenso de que a Transformação Digital está apoiada em nove pilares (Figura 1): robótica autônoma e colaborativa; integração horizontal e vertical de sistemas; Internet das coisas; simulação; manufatura aditiva; computação em nuvem; realidade aumentada; Big Data e; segurança cibernética (LIAO et al., 2017; LYDON, 2016; RÜBMANN et al., 2015).

Diante do rápido cenário de atualização tecnológica e de processos imposta pelo fenômeno da Transformação Digital, vê-se necessário a modernização do sistema educacional, o que inclui a Educação em Engenharia. Logo, a Transformação Digital provoca diversos sub fenômenos. Um deles é a Educação 4.0.

Figura 1. Os 9 pilares da Indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de LYDON (2016).

### 1.1.2 Sub Fenômeno: Educação 4.0 e a Transformação da Educação em Engenharia

Durante o desenvolvimento da presente proposta de tese, não havia definição formal para a Educação 4.0<sup>1</sup>. O que se sabe é que a Educação 4.0 vai além da transmissão de conhecimento e adoção de tecnologias educacionais. Para a formação de competências, o conhecimento precisa ser aplicado com destreza no campo do trabalho, mas também com comportamento adequado (DAS; KLEINKE; PISTRUI, 2020).

O *World Economic Forum* (WEF) tem publicado relatórios apontando as competências necessárias para o Século 21. Em um deles, a publicação “*New Vision for Education: Unlocking the potential of Technology*” agrupou as competências em 3 categorias: conhecimento, habilidades e atitudes (WORLD ECONOMIC FORUM, 2015). Cinco anos depois, a mesma instituição publicou novo relatório com as competências essenciais para futuros profissionais (WORLD ECONOMIC FORUM, 2020): resolução de problemas complexos, pensamento crítico, criatividade, gestão de pessoas, colaboração, inteligência emocional, tomada de decisão, orientação para serviços, negociação e flexibilidade cognitiva. Enfim, o WEF divulgou uma taxonomia sintetizando e definindo o conceito de competência no documento chamado “*Building a Common Language for Skills at Work: A Global Taxonomy*” (WORLD ECONOMIC FORUM, 2021). Este relatório aponta a necessidade de requalificação profissional para o horizonte de 2025. A WEF definiu que competência é “a coleção de habilidades profissionais, conhecimentos, atitudes e habilidades físicas que habilitam um indivíduo a ocupar cargos de trabalho”.

Já a OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) propôs um modelo educacional para o horizonte de 2030. O *Conceptual Learning Framework – Transformative Competencies for 2030* vai além do conhecimento, habilidades e atitudes. A proposta inclui que o profissional também deve possuir valores (OECD, 2019). Desta forma, os estudantes aprendem a enfrentar os desafios das mudanças atuais e colaboram para a criação de um futuro melhor. O modelo educacional proposto pela OECD define que as competências são suportadas por 4 pilares centrais: as habilidades, o conhecimento, as atitudes e os valores. Esses pilares fornecem a base para o desenvolvimento de estudantes ativos e de competências transformadoras. Estas são aquelas necessárias para enfrentar os desafios do Século 21: criar

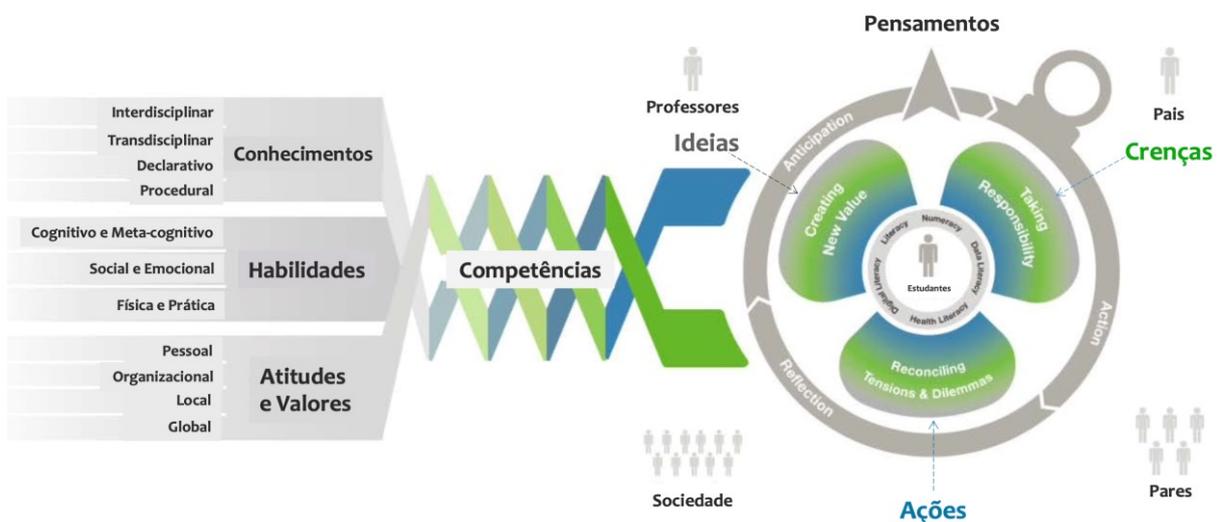
---

<sup>1</sup> Em janeiro de 2023, o Fórum Econômico Mundial lançou um *white paper* intitulado “*Defining Education 4.0: A Taxonomy for the Future of Learning*” (WORLD ECONOMIC FORUM, 2023). Contudo, o documento é citado nesta tese, mas não foi considerado como taxonomia na revisão sistemática da literatura.

valor, reconciliar tensões e dilemas e assumir responsabilidades. Com estas competências, o estudante ativo desenvolve o sentimento de ser parte do processo transformativo da Sociedade e não mero espectador. Junto aos professores e colegas, o estudante age colaborativamente, sendo cocriador de soluções transformativas para um mundo melhor. Para tanto, o estudante irá se apoiar nos 4 pilares do modelo da OECD. No pilar do conhecimento, há os conceitos necessários para a solução de um problema. No pilar das habilidades, o aluno aplica o conhecimento de forma responsável e com propósito em algum processo transformativo. E nos pilares das atitudes e valores, o estudante precisa se preocupar que a solução para o problema respeite as diferenças individuais, sociais e ambientais, desenvolvendo um senso de cidadania, com inclusão social e sustentabilidade econômica e social. Por fim, o modelo da OECD prevê um ciclo de antecipação, ação e reflexão, que se integram no quarto domínio de aprendizagem, que é a intuição (pensamentos), conforme define SIEMENS (2006). Na fase de antecipação, o estudante aprende como suas ações do presente geram consequências para o futuro. Assim, na etapa de ações, elas passam a ser realizadas para o bem-estar. Enfim, na fase de reflexão, alunos lidam com o bem-estar coletivo, conforme mostra a Figura 2.

Por meio dos relatórios e framework apresentados acima, percebe-se que o modelo tradicional de ensino, com a prescrição de currículos padronizados por instituições para serem cursados em uma linha de tempo fixa, perde espaço no contexto das mudanças sociais e tecnológicas do Século 21. Percebe-se que a transmissão de conteúdo em disciplinas isoladas tem pouco efeito na formação de competências. A integração de pensamentos, conhecimentos, habilidades, atitudes e valores é a proposta para a formação de competências. Esse é o **sub fenômeno** da transformação do ensino tradicional para a Educação 4.0.

Figura 2. Modelo educacional para o horizonte de 2030 (OECD).



Fonte: The OECD Learning Framework 2030: Work-in-progress.

Uma tentativa de definição para a Educação 4.0 (DAS; KLEINKE; PISTRUI, 2020; WORLD ECONOMIC FORUM, 2023) foi realizada de acordo com Fisk (FISK, 2017), antes da Taxonomia publicada pelo WEF: a Educação 4.0 ocorre em tempo e locais diversos e com ensino personalizado, ou seja, com cada estudante no seu tempo, escolhendo os estilos e trilhas de aprendizagem. O ensino para a força de trabalho do futuro deve ser feito com aprendizagem baseada em projetos (PjBL – *Project-Based Learning*), com mais experiência em campo e interpretando dados. Na Educação 4.0 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2023), professor muda o seu papel de detentor do conhecimento para o de mentor, colocando o estudante no centro do processo de ensino-aprendizagem. Além disso, o “professor 4.0” aplica metodologias de ensino e avaliações modernas e inovadoras.

De forma analítica, a Educação 4.0, obviamente, também impacta a Educação em Engenharia. Da mesma forma que o estudante do ensino fundamental e médio precisam estar preparados para os desafios do Século 21, o estudante de engenharia fará parte da força de trabalho para aplicar as tecnologias transformadoras da Indústria 4.0 e Sociedade 5.0. O aprendiz da educação superior igualmente deverá usar o conhecimento com habilidades profissionais, atitudes e valores.

De acordo com o relatório “*The global state of the art in engineering education*” (GRAHAM, 2018), historicamente, as instituições líderes na Educação em Engenharia, como MIT, *Stanford University*, *Aalborg University*, *TU Delft*, *Purdue University* e outras, já vinham com projetos educacionais centrados no estudante, PjBL, tecnologia e empreendedorismo andando juntos e aplicando rigor nos fundamentos de engenharia. Contudo, o mesmo relatório aponta que há líderes emergentes na Educação em Engenharia, como a *STUD*, o *Olin College*, *UCL*, *PUC Chile*, *Iron Range Engineering* e outras, trabalhando em reformas do sistema educacional com propostas de novos cursos, atendendo as necessidades e restrições locais (GRAHAM, 2018). Além disso, essas universidades estão propondo programas multidisciplinares com novas ferramentas de suporte educacional e focados em inovação. Um aspecto que se alinha naturalmente com o modelo da OECD nessas instituições de ensino inovadoras é a autorreflexão do estudante. Ainda, a autora do relatório afirma que as universidades colocam esforços em internacionalização. Os cursos estão preocupados em oferecer oportunidades de dupla diplomação, por exemplo. Por fim, dentre as metodologias de ensino usadas nas universidades modernas, está a *work-based learning* (WBL), uma proposta para aprendizado imediato no campo de trabalho. Portanto, com parcerias efetivas dos cursos de engenharia com empresas do entorno. Não se trata apenas de um estágio supervisionado,

mas sim, a aplicação efetiva da Educação em Engenharia no campo de trabalho, com a indústria e as universidades trabalhando em conjunto para a formação de competências.

Com o exposto acima, vê-se que há vários exemplos bem-sucedidos para a Educação em Engenharia. Instituições líderes inspiram outras. Assim, o sub fenômeno de modernização da educação no Brasil vai ganhando alguma força. Alguns exemplos serão mostrados no item seguinte.

### **1.1.3 Sub Fenômeno: Modernização da Educação em Engenharia no Brasil**

De maneira localizada, algumas universidades brasileiras, motivadas pelos líderes e líderes emergentes da Educação em Engenharia, estão conduzindo reformas significativas em suas escolas de engenharia. É o caso do INSPER em São Paulo, que criou cursos novos de engenharia inspirados no modelo do *Olin College* (GIANESI, 2021).

No mesmo caminho, mas já com escolas de engenharia consolidadas, oito universidades brasileiras participam do Programa Brasil-Estados Unidos de Modernização da Educação Superior na Graduação – PMG-EUA (CAPES-CNE-COMISSÃO FULBRIGHT, 2018; FULBRIGHT BRASIL, 2018): PUCPR, SENAI-Cimatec, UFRGS, UFRJ, UFSCar, Unifei, USP e UNISINOS. O programa é resultado de uma preocupação do Ministério da Educação, por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Educação (CNE), e da Comissão Fulbright Brasil em relação as diferenças do estado atual da Educação em Engenharia norte-americana e a brasileira. O PMG conta com oito cursos de engenharia, das oito diferentes universidades, trabalhando de forma colaborativa para:

- 1) modernizar a educação brasileira, sugerindo regulação atualizada junto ao CNE;
- 2) criar redes de colaboração entre Brasil e Estados Unidos em prol da qualidade da educação com visão para as tendências internacionais na área de engenharia;
- 3) criar ambiente propício ao pensamento criativo, inovação e empreendedorismo, mas com base sólida da engenharia;
- 4) internacionalizar as universidades brasileiras;
- 5) integrar os diferentes níveis de formação e o setor produtivo; e
- 6) disseminar as ações e resultados obtidos com o PMG.

O PMG iniciou em 2019 e tem duração de 8 anos. As ações das oito universidades já apresentaram resultados parciais que estão registrados em publicações da Associação Brasileira

de Educação em Engenharia (ABENGE) e Confederação Nacional da Indústria (CNI) (CNI et al., 2021; OLIVEIRA, 2019a). Na Sociedade Civil Organizada, a Academia Nacional de Engenharia (ANE) publicou relatório (ACADEMIA NACIONAL DE ENGENHARIA, 2021) corroborando com os objetivos 3, 4 e 5 do PMG.

Contudo, as ações precisam de reforço para atingir a todos os cursos de engenharia brasileiros, pois a Educação em Engenharia no Brasil ainda é considerada falha em atender às demandas da Transformação Digital, levando em conta o que consta no relatório da OECD: “Educação no Brasil: uma perspectiva internacional” (OECD, 2021).

Diante dos fenômenos e sub fenômenos apresentados, verifica-se a falta de modelos que formulem diretrizes estratégicas que conduzam a concepção e atualização de cursos de engenharia. Assim, surge um problema de pesquisa, considerando esse cenário desfavorável.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA DO MUNDO REAL

De acordo com o relatório “Educação no Brasil: uma perspectiva internacional” (OECD, 2021), o sistema de educação superior precisa melhorar. Portanto, os cursos de engenharia também. O relatório cita que o instrumento de medição “ENADE” é falho na avaliação das competências, pois não alia o componente geral de avaliação aos conteúdos dos cursos. Se as duas partes estão desconexas e os cursos de engenharia traçam metas para atender apenas a bons resultados no ENADE, a formação por competências perde força.

Consequentemente, os engenheiros recém-formados não possuem as competências para a solução de problemas no contexto da Indústria 4.0 e Sociedade 5.0. Isso acarreta negativamente na competitividade das empresas, trazendo malefícios também para a Sociedade. O Brasil ocupou apenas a 69ª posição no Índice Global de Inovação e a 29ª posição no Índice Global de Competitividade da Manufatura em 2016, de acordo com a “Agenda Brasileira para a Indústria 4.0” (BRASIL, 2020). Por outro lado, a Confederação Nacional da Indústria aponta que a média de competitividade do Brasil cresceu, mas sem sair da penúltima colocação entre os países selecionados (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2022).

Muito do problema se deve ao distanciamento entre universidades e empresas, tornando a aprendizagem prática mais distante. A universidade não escuta as demandas da indústria e esta, por sua vez, não procura se aproximar para dizer o que necessita. Aqui, percebe-se que o problema é mundial e não somente no Brasil (SHAFEEK, 2019).

Mais um relatório corrobora com o problema do mundo real. O documento “Profissões Emergentes na Era Digital: Oportunidades e desafios na qualificação profissional para uma recuperação verde - Panorama do Brasil” (FRANK et al., 2021) afirma que os centros educacionais fornecem a formação básica, mas pecam em especialidades. Além da formação deficiente, as instituições de ensino não conseguem fornecer a quantidade esperada de profissionais. Para agravar, o relatório trouxe dados preocupantes em relação ao interesse de estudantes universitários pelas áreas de STEM (*Science, Technology, Engineering & Maths*). Enquanto em países desenvolvidos, aproximadamente 24% dos estudantes se engajam nas áreas STEM, no Brasil esse número fica próximo dos 17% (FRANK et al., 2021).

Conseqüentemente, as empresas passam a assumir a operação e os custos de formação de mão-de-obra qualificada, criando universidades corporativas (BRANCO, 2006). As companhias precisam desenvolver talentos e habilidades certas para não perder oportunidades. Isso tem sido feito por meio de treinamentos online, mas com trilhas de aprendizagem flexíveis para que cada funcionário adquira as competências necessárias para o seu desafio atual (BUGHIN et al., 2019). Isso configura a necessidade de ensino personalizado (DAS; KLEINKE; PISTRUI, 2020; WORLD ECONOMIC FORUM, 2023).

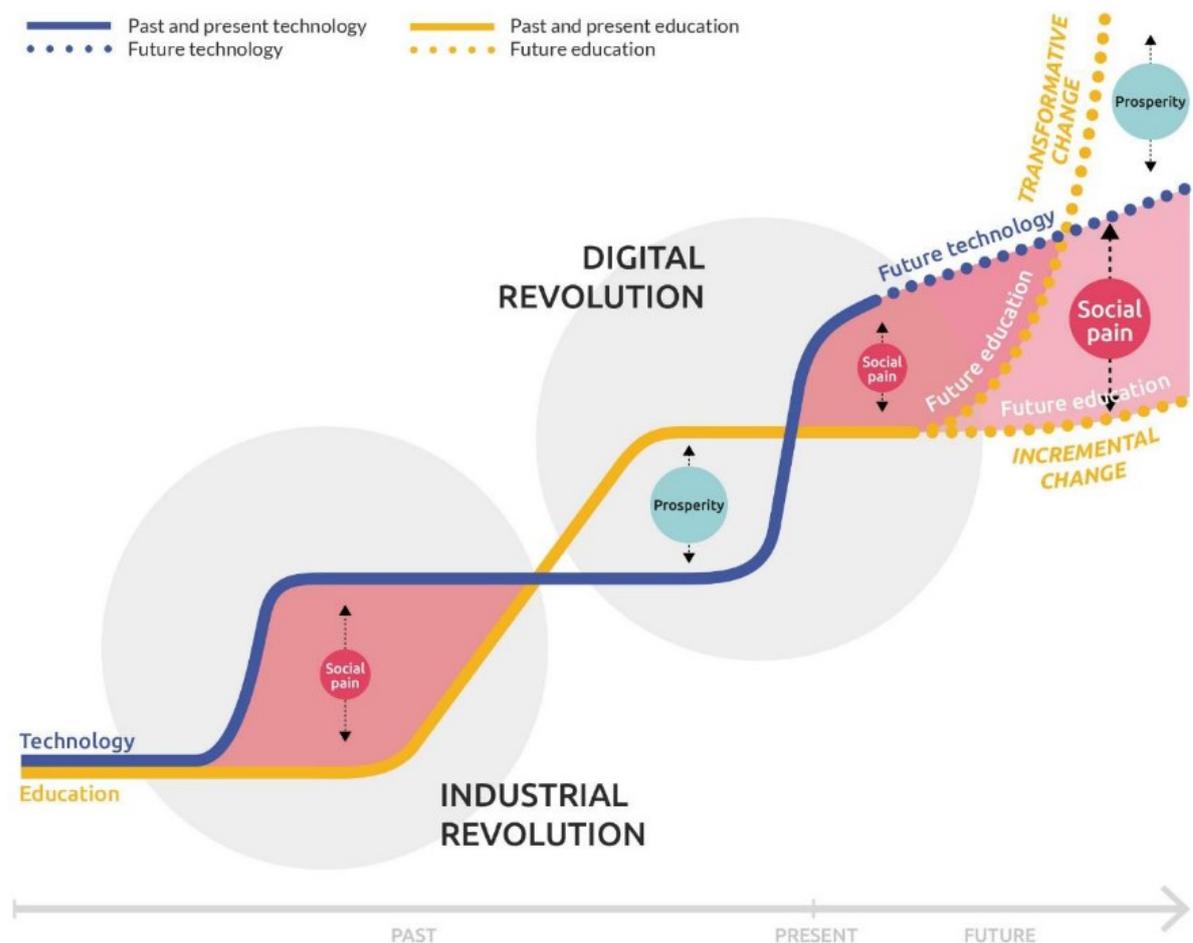
Ainda, as inovações nos processos empresariais acontecem de maneira muito rápida. No entanto, a Educação em Engenharia não tem sido tão ágil na atualização do conhecimento e das metodologias de ensino, falhando na educação de engenheiros competentes para enfrentar os desafios da Indústria 4.0 e Sociedade 5.0. A “corrida entre tecnologia e educação” (Figura 3) mostra que atualmente já possuímos uma lacuna chamada “dor social” (OECD, 2019). Esta dor só tende a aumentar caso pequenas mudanças incrementais sejam adotadas para a educação. O sistema educacional precisa passar por mudanças transformadoras, trazendo uma nova era de prosperidade para o futuro da educação e da tecnologia.

Este projeto de tese, também, considera as preocupações das partes interessadas (estudantes, professores, escolas de engenharia, funcionários e Sociedade) sobre a capacidade educacional e a efetividade do sistema da Educação em Engenharia atual do Brasil, no que diz respeito à formação de um maior número de engenheiros, com as competências que são necessárias para encarar os desafios e as oportunidades da Transformação Digital. As principais preocupações incluem:

- 1) A redução contínua no número de estudantes de ensino médio no Brasil (MEC; INEP, 2021), que tenham interesse e um nível de qualificação em matemática e ciências para ingressarem nos cursos de engenharia;

- 2) A redução crescente nas inscrições dos vestibulares e no ENEM para os cursos de engenharia (CREA-PR, 2023a);
- 3) A contínua baixa participação de mulheres e de outros grupos minoritários nos cursos universitários de engenharia (FRANK et al., 2021);
- 4) Altos níveis de evasão de alunos dos cursos de engenharia (CREA-PR, 2023b; MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2019; OLIVEIRA, 2019a);
- 5) Baixos níveis de matrículas em programas de mestrado e de doutorado por graduados em engenharia (BARBOSA; OLIVEIRA, 2018);
- 6) Declínio nas matrículas de graduados em engenharia em atividades de pesquisa;
- 7) Diminuição dos recursos financeiros para o ensino nas Escolas de Engenharia, com a correspondente redução na proporção aluno-equipe;

Figura 3. “A corrida entre tecnologia e educação” (OECD).



Fonte: The OECD Learning Framework 2030: Work-in-progress.

- 8) Dificuldades na nomeação e retenção de jovens acadêmicos de engenharia, bem qualificados, com incentivos aparentemente menores no sistema para melhorar o ensino do que para desenvolver pesquisa;
- 9) A maioria dos laboratórios das escolas de engenharia estão inadequados para a formação prática dos seus estudantes;
- 10) As relações entre as escolas de engenharia e a indústria, no Brasil, ainda são muito frágeis, resultando na exposição desigual dos alunos de engenharia à prática profissional contemporânea (DINIZ et al., 2019; GARCIA, RENATO; RAPINI, MÁRCIA; CÁRIO, 2018; ZIMMER et al., 2015);
- 11) A matriz curricular dos cursos de engenharia atuais não está adequada às necessidades atuais e futuras da indústria (CN-DCNS, 2020);
- 12) Preocupações amplamente difundidas de que o valor social da engenharia como profissão e o amplo mérito da engenharia, um caminho de estudos que aumenta as oportunidades de carreira dos graduados, são amplamente invisíveis para o público em geral e nos setores de educação escolar.

Diante dessas preocupações, de forma geral e ampla, conclui-se que a Educação em Engenharia atual é desinteressante e não permite que estudantes adquiram as competências necessárias para enfrentar os desafios e as oportunidades da Transformação Digital. Mas o que causa essas preocupações? Seria o resultado da falta de planejamento ou a inadequação dele para a formação de engenheiros competentes? Será que há modelos com estratégias eficazes que guiam os cursos de engenharia para a formação de competências? Respondendo a última questão, pode-se dizer que há modelos encontrados na literatura que aliam as Tecnologias Educacionais modernas com os princípios da *Smart Education*. Contudo, **no nível organizacional das escolas de engenharia, não há modelos com diretrizes estratégicas eficazes para guiar a concepção e atualização de cursos na formação de competências que atendam às demandas da Indústria 4.0 e Sociedade 5.0.**

Sendo assim, o problema de pesquisa se definiu na seguinte questão: **Como apoiar estrategicamente as escolas de engenharia a formar competências nos estudantes que estejam alinhadas às necessidades impostas pela Transformação Digital?**

Uma hipótese para aliviar as dores presentes na Educação em Engenharia é formular diretrizes estratégicas para aliar a adoção das tecnologias educacionais com as melhores práticas presentes na *Smart Education*, sem se esquecer do contexto brasileiro para a Educação Superior. Um modelo conceitual contendo as diretrizes estratégicas pode colaborar para a formação de

competências nos estudantes de engenharia, diminuindo as preocupações das partes interessadas.

### 1.3 PARTES INTERESSADAS

As partes interessadas, que são impactadas pelo Problema do Mundo Real, são os **estudantes, professores, escolas de engenharia, funcionários e a Sociedade**. Os **estudantes** são os *stakeholders* mais importantes em um processo de aprendizagem por competências, pois este estilo de aprendizagem é neles centrado (SUDIBJO; IDAWATI; HARSANTI, 2019). O impacto sentido é a migração da formação por conteúdo para a formação por competências (MAY; OSSENBURG, 2014). Conseqüentemente, **professores** são os atores responsáveis pela condução da formação de competências, mostrando como aplicar conhecimentos em problemas reais de engenharia e com comportamento adequado ao mercado de trabalho. Antes detentor do conhecimento, o professor passa a ser o orquestrador das metodologias e das ferramentas para orientar os estudantes na busca por soluções (DAS; KLEINKE; PISTRUI, 2020).

As **escolas de engenharia** acabam sendo fortemente impactadas pelo problema, uma vez que precisam gerenciar como atender às demandas da Sociedade (GRAHAM, 2018). A coordenação também precisa conduzir a formação dos alunos e liderar o corpo docente para o uso de metodologias baseadas em aprendizagem ativa que favoreçam a formação por competências. Já os **funcionários** precisam também passar pela mudança de *mindset* e serem treinados e atualizados sobre as novas demandas dos estudantes, professores e coordenação de curso (ADEKOLA; DALE; GARDINER, 2017).

Por fim, a **Sociedade** é quem necessita de engenheiros qualificados para as demandas da Transformação Digital (GRAHAM, 2018; SUDIBJO; IDAWATI; HARSANTI, 2019). A Indústria e outros setores da Sociedade requerem profissionais qualificados e atualizados. E são os estudantes que irão ocupar postos de trabalho ou irão empreender soluções inovadoras para a Sociedade, após a formação por competências orquestrada por professores e planejada pela coordenação de curso, com apoio do seu Núcleo Docente Estruturante (NDE).

Entende-se que a Sociedade 5.0 é uma visão mais ampla da Indústria 4.0 (PEREIRA; LIMA; CHARRUA-SANTOS, 2020; SUDIBJO; IDAWATI; HARSANTI, 2019; ZENGİN et al., 2021). Portanto, a proposição de um modelo que guie estrategicamente escolas de engenharia a formar competências em seus estudantes tende a beneficiar a Sociedade 5.0 e não apenas a Indústria 4.0.

#### 1.4 O PAPEL DA ENGENHARIA DO CONHECIMENTO SOBRE O PROBLEMA DE PESQUISA

A Engenharia do Conhecimento é uma área que se dedica a capturar, representar, organizar e aplicar o conhecimento de especialistas humanos em sistemas computacionais. No contexto da presente tese, a Engenharia do Conhecimento é responsável por conduzir a aquisição de conhecimento, ou seja, o processo de extrair informações e conhecimentos relevantes dos especialistas em Educação em Engenharia. Essa aquisição de conhecimento pode envolver abordagens com os especialistas para definição de premissas e formulação de requisitos para a construção de um artefato. Portanto, a Engenharia do Conhecimento é determinante na modelagem do conhecimento adquirido, pois colabora para o projeto de modelos conceituais na tentativa de remediar as dores existentes na formação de competências nos estudantes de engenharia.

Um modelo conceitual, desenvolvido por meio de ferramentas da Engenharia do Conhecimento, contém os conceitos, as relações, a composição do conhecimento de domínio e as estruturas de dados apropriadas para armazenar e manipular o conhecimento sobre a Educação em Engenharia.

A Engenharia do Conhecimento também participa dos processos de validação do modelo conceitual, permitindo avaliar a sua consistência e relevância. A avaliação é possível por meio da implementação do modelo conceitual em um artefato tecnológico, com a participação dos especialistas humanos.

Com as metodologias e ferramentas adequadas, a Engenharia do Conhecimento projeta e implementa sistemas baseados em conhecimento eficazes. Isso permite que o conhecimento especializado seja representado e utilizado para atingir os objetivos dos sistemas. Na Educação em Engenharia, no contexto da Transformação Digital, a representação do conhecimento é composta por diretrizes estratégicas formuladas por meio de um modelo conceitual. Por outro lado, a utilização de tal conhecimento é realizada quando as diretrizes são colocadas em prática para a modernização da Educação em Engenharia e como guia dos cursos de engenharia na formação de competências em seus estudantes.

## 1.5 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos desta tese.

### 1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese é: **Propor um modelo conceitual para a formulação de diretrizes estratégicas na concepção a atualização de cursos de engenharia de acordo com o cenário da Transformação Digital.**

Com o modelo conceitual sendo aplicado a cursos de engenharia, espera-se contribuir para a formação de profissionais qualificados a enfrentar os desafios e oportunidades oferecidas pela Transformação Digital, reduzindo os efeitos negativos presentes no problema de pesquisa do mundo real.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos descritos abaixo buscam pelo conhecimento científico presente na literatura (1), que apoiam a definição do modelo conceitual proposto (2) e a implementação deste como artefato tecnológico em uma plataforma computacional (3 e 4):

- 1) Analisar como a Educação em Engenharia se relaciona com a Educação 4.0;
- 2) Projetar o modelo conceitual utilizando uma metodologia da Engenharia de Conhecimento;
- 3) Implementar o modelo conceitual como artefato tecnológico em uma plataforma computacional, testando a sua consistência e a sua viabilidade;
- 4) Realizar a avaliação de viabilidade e de consistência do modelo conceitual proposto junto a especialistas em Educação em Engenharia.

### 1.5.3 Metodologia e Ferramentas de Suporte à Tese

A condução da tese seguiu os 12 passos sugeridos pela metodologia *Design Science Research* (DRESCH; PACHECO; VALLE ANTUNES, 2015), que culminou no projeto de um

modelo conceitual. Contudo, o DSR ainda propõe a implementação do modelo em um artefato tecnológico.

O *DScaffolding* (CONTELL; DÍAZ; VENABLE, 2017), um mapa conceitual que possui integração ao Mendeley, foi utilizado como ferramenta de apoio para as fases de **Identificação do Problema** e de **Entendimento do Problema** na DSR.

Já para a fase de **Revisão Sistemática da Literatura** e de **Identificação de Artefatos e Configuração de Classes de Problemas**, três ferramentas foram aplicadas. A primeira delas foi o *ProKnow-C* (ENSSLIN; ENSSLIN, 2007) como metodologia para a RSL. Devido a elevada quantidade de publicações relevantes, uma segunda ferramenta foi utilizada: o PROTOLIT (LOURES et al., 2020). O recurso prioriza publicações segundo uma parametrização multicritério. Por fim, o terceiro procedimento foi a aplicação de uma matriz SWOT nas três primeiras palavras-chave mais citadas nas publicações da RSL: *Educational Technologies*, *Engineering Education* e *Smart Education*.

Na fase de **Proposta de Artefatos para a Solução de um Problema Específico** e na fase de **Projeto do Artefato Selecionado**, a *Lightweight CommonKADS* (SURAKRATANASAKUL, 2017) foi usada como ferramenta da Engenharia do Conhecimento para projetar o modelo conceitual.

O **Desenvolvimento do Artefato** foi realizado com sua implementação na plataforma computacional SharePoint do Microsoft 365. Assim, o teste de consistência e de viabilidade foram executados pelo pesquisador da presente tese.

Finalmente, na fase de **Avaliação do Artefato**, entrevistas semiestruturadas foram realizadas com especialistas em Educação em Engenharia. As pessoas entrevistadas puderam avaliar a consistência e viabilidade do artefato, por meio do protótipo implementando na plataforma computacional.

Maiores detalhes sobre a metodologia e ferramentas utilizadas na presente pesquisa podem ser encontrados nos Capítulos 4, de PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS e 5, PROJETO DO ARTEFATO: O MODELO CONCEITUAL.

## 1.6 JUSTIFICATIVA, RELEVÂNCIA E INEDITISMO DA PESQUISA

Nesta seção, primeiramente, apresenta-se a justificativa da pesquisa frente aos problemas que afetam a Educação em Engenharia. Em seguida, apresenta-se a relevância da pesquisa e, finalmente, o seu ineditismo.

### 1.6.1 Justificativa da Pesquisa

A presente pesquisa se justifica devido a inexistência de diretrizes estratégicas, para a gestão de cursos de engenharia, que resultam em problemas de diversas naturezas:

- i. **problema curricular:** manutenção de matrizes curriculares fragmentadas sem integração entre disciplinas;
- ii. **problema pedagógico:** educação em engenharia centrada no professor e no ensino e não centrada no estudante e na aprendizagem;
- iii. **problema social:** altas taxas de evasão de estudantes;
- iv. **problema econômico:** falta de profissionais de engenharia qualificados por competências e baixa competitividade do setor produtivo;
- v. **problema burocrático:** barreiras departamentais e escassez de recursos.

Em relação ao **problema curricular**, trata-se de um problema pragmático, presente na maioria dos cursos de engenharia, que são estruturados em matrizes curriculares fragmentadas, baseadas em conteúdos, ao invés de estarem orientadas ao perfil do egresso e baseadas por competências (CN-DCNS, 2020). Conforme o “Relatório Síntese” da Comissão Nacional para Implantação das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (CN-DCNS, 2020), “caixas” são agrupadas em uma sequência que não refletem no perfil do egresso desejado. Essas “caixas” são as tradicionais disciplinas, que não cobrem todo o conteúdo desejado, portanto priorizações são feitas, deixando de lado temas que seriam importantes para a formação dos engenheiros. Adicionalmente, disciplinas organizadas com conteúdos isolados dificultam a integração e contextualização do conhecimento por parte dos estudantes (OLIVEIRA, 2019b).

Em relação ao **problema pedagógico**, salienta-se que, na Educação em Engenharia, o estudante que deveria ser o protagonista principal do processo de aprendizagem é tratado como um coadjuvante. Ao invés de uma pedagogia de aprendizagem ativa, os cursos de engenharia são baseados em uma pedagogia de aprendizagem passiva. Esta exclusão do estudante como protagonista principal do processo de aprendizagem e de sua avaliação, papel que hoje é ocupado pelos professores na maioria dos cursos de engenharia (BORG; SCOTT-YOUNG; TURNER, 2019; HARTONO et al., 2018), deve ser considerada e, também, justifica esta pesquisa. Segundo as “Experiências do SENAI-CIMATEC na reformulação da graduação em Engenharia” a avaliação da aprendizagem no modelo tradicional, centrada no ensino, é utilizada

para o seu monitoramento, com ênfase em respostas certas (FERRAZ et al., 2021). Enquanto a avaliação da aprendizagem no modelo centrado no estudante é para promover e certificar as competências adquiridas, em um cenário que o próprio estudante faz as perguntas certas e aprende com os seus erros. No ensino tradicional, há uma cultura competitiva e individualista, enquanto no ensino baseado em competências, a cultura é de cooperação, colaboração e solidariedade (FERRAZ et al., 2021). Somado a isso, o processo tradicional de ensino está contaminado por tentativas de fraude acadêmica (MITROFANOVA; SHERSTOBITOVA; FILIPPOVA, 2019), principalmente nas disciplinas que não há interesse dos alunos, afetando negativamente a qualidade da força de trabalho do futuro.

Em relação ao **problema social**, salienta-se as altas taxas de evasão (superior a 50%) nos cursos de engenharia de universidades públicas e privadas (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2019). De fato, as universidades públicas e privadas perdem continuamente um número significativo de estudantes, um dos seus principais stakeholders. Conseqüentemente, há diminuição de entrada de recursos (mensalidades, no caso de universidades privadas) e poder de investimento na Educação em Engenharia (no caso das universidades públicas). Portanto, diretrizes estratégicas, para a transformação do modelo ensino tradicional, baseado em conteúdos, para um modelo contemporâneo, baseado em competências, poderiam motivar os estudantes a continuarem os estudos em um ambiente onde eles se sentem ativos no processo de aprendizagem.

Em relação ao **problema econômico**, a não atualização da organização da Educação em Engenharia cria um *gap* de profissionais qualificados, ocasionando a falta de competitividade na Indústria. O Parecer da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação, sobre a proposta das Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2019), relata que o fraco desempenho brasileiro em competir internacionalmente se deve a um indicador baixo relacionado aos recursos humanos. Antes das novas DCNs serem publicadas em 2019, houve aumento no número de matrículas em cursos de engenharia. Contudo, o parecer ainda relata taxa de evasão elevada. Portanto, justificou-se a necessidade de novas DCNs que orientem o desenvolvimento de competências. Portanto, cabe aos coordenadores de curso, junto aos seus NDEs, analisarem as DCNs. Entretanto, um modelo pode ajudar a guiar a implementação das DCNs nas propostas formativas. Quanto ao desinteresse mútuo na interação universidade-empresa, destaca-se a presença excessiva de burocracia e falta de recursos para a relação (ZIMMER et al., 2015). Além disso, nota-se o

desconhecimento de muitas empresas em programas de fomento que proporcionam a aproximação das duas instituições, como a Lei de Inovação Nº 10.973/2002 e a Lei do Bem Nº 11.196/2005. Isso acarreta a diminuição de parcerias e a redução de recursos disponíveis para a Educação em Engenharia. A proposição de um modelo para formulação de diretrizes pode colaborar na aproximação da universidade com as empresas.

Em relação à **burocracia**, uma das maiores barreiras é a estrutura departamental das escolas de engenharia, que enfraquece a interação inter e transdisciplinar do ambiente universitário. Ideologias e liderança de professores fortalecem a construção de muros departamentais (GRAHAM, 2018). Recursos são distribuídos em quantidade insuficiente para cada departamento. Se as barreiras departamentais fossem quebradas, as coordenações dos cursos teriam um maior protagonismo e os esforços conjuntos dos corpos docente e discente poderiam gerar resultados mais significativos para todos os envolvidos. As diretrizes estratégicas poderiam colaborar no sentido de mapear competências departamentais comuns, promover a inter e a transdisciplinaridade na formação em engenharia e sugerir ações conjuntas, eliminando sobreposições e, conseqüentemente, economizando recursos. Os recursos são alocados, em geral, para renumeração de professores e funcionários, manutenção e investimento em tecnologias educacionais. Estas podem ser entendidas como aquelas aplicadas em ambientes de aprendizagem e as ferramentas para a gestão acadêmica, como Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) para o ensino presencial, semipresencial e à distância. Mas devido às transformações tecnológicas em andamento e a necessidade de ampliar o ensino para além das fronteiras físicas da universidade, a infraestrutura de TI precisa ser atualizada para a adoção de tecnologias educacionais inovadoras. Portanto, há a necessidade de diretrizes estratégicas para melhor aplicar os recursos, muitas vezes escassos.

### 1.6.2 Relevância da Pesquisa

A **relevância** desta pesquisa está relacionada à busca da melhoria contínua da Educação em Engenharia, baseada em conhecimento, pois um modelo conceitual para a formulação de diretrizes estratégicas permite que as coordenações dos cursos de engenharia possam avaliar, de forma sistemática, todos os processos de ensino/aprendizagem implementados e atualizar a estrutura curricular quando se fizer necessário.

Entretanto, a relevância desta pesquisa de tese está no modelo conceitual proposto que permite a formulação de diretrizes para a concepção e a atualização sistemática de cursos de

engenharia, no contexto da Transformação Digital. Este movimento tem a necessidade do desenvolvimento de competências, para que estudantes se transformem em profissionais que enfrentem os desafios e oportunidades da Sociedade 5.0. As diretrizes, formuladas por meio de um modelo conceitual, têm como objetivo não o ensino de qualquer conteúdo disciplinar em particular, mas a exploração do que se chama de áreas de conhecimento (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Maths – STEAM*).

Na prática pedagógica das escolas de engenharia, os “conhecimentos” dessas áreas precisam ser devidamente explicitados, usando as ferramentas da Engenharia do Conhecimento, para que os seus estudantes possam incorporá-los. Preliminarmente, é necessário considerar as bases da “teoria do conhecimento” para a formação de um profissional de engenharia. A teoria do conhecimento é uma área de especulação filosófica preocupada com a natureza, condições e/ou primeiros princípios do conhecimento (BASTIAN; KITCHING; SIMS, 2020) e, também, de acordo com alguns autores (HENLY; SPRAGUE, 2020a; HEYDORN; JESUDASON, 2013; SHIEBER, 2019) com o valor da verdade, ou confiabilidade, do conhecimento em geral. De fato, teoria do conhecimento é a base do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento (PPGEGC) da UFSC, que permite dar o rigor acadêmico que uma tese do Programa deve ter. Da mesma forma, a teoria do conhecimento não tem a intenção de ensinar fatos novos aos coordenadores de curso de graduação em engenharia, mas de permitir que eles se coloquem em diferentes perspectivas, em um modelo de compreensão atualizada – modelo de conhecimento – o que a gestão de cursos já sabe sobre a Educação em Engenharia e como transmitir o conhecimento de engenharia para os seus estudantes. De fato, a teoria do conhecimento visa conscientizar os estudantes de engenharia sobre a natureza interpretativa do conhecimento, incluindo preconceitos ideológicos pessoais – sejam esses preconceitos mantidos, revisados ou rejeitados..., refletir criticamente sobre as diversas formas de conhecer e sobre as diferentes áreas do conhecimento. Nessa perspectiva, a teoria do conhecimento aborda as seguintes questões centrais:

- a) O que é conhecimento?
- b) O que é uma questão ou hipótese de pesquisa sobre o “conhecimento”?
- c) Qual é a diferença entre conhecimento individual e conhecimento organizacional?
- d) Como posso comparar diferentes áreas do conhecimento?
- e) Quais competências eu preciso adquirir como aluno de engenharia?
- f) Como serei avaliado?

### 1.6.3 Ineditismo da Pesquisa

Apesar de haver na literatura uma proposta de estratégia para desenvolvimento da *Smart Education* a nível organizacional (TIKHOMIROV; DNEPROVSKAYA; YANKOVSKAYA, 2015), o modelo proposto pelos autores não aborda como a estratégia é formulada. A estratégia deve considerar o contexto local de um curso para que seja bem executada. O mesmo pode ser dito para arquiteturas “*smart*” de educação superior (MERZON; IBATULLIN, 2017) e modelos de aprendizagem híbrida e inteligente (HARTONO et al., 2018).

A adoção de arquiteturas e modelos inovadores pode aliviar algumas das dores existentes na Educação em Engenharia. Porém, sem diretrizes estratégicas eficazes, arquiteturas e modelos de aprendizagem inteligentes poderiam ser aplicados sem todo o seu potencial, formando as competências de engenharia lentamente ou parcialmente. E a Transformação Digital anseia por agilidade na formação de competências.

O **ineditismo** da pesquisa pode ser caracterizado pelo olhar da Engenharia do Conhecimento sobre a complexidade da Educação em Engenharia, colaborando para a necessária mudança transformadora na expectativa de reduzir a distância entre as curvas do futuro da tecnologia e da Educação, conforme ilustrada no relatório da OECD (Figura 3). Esse olhar está sobre o conhecimento e o seu fluxo, sobre os eventos, fluxos de mensagens e interações das partes envolvidas na Educação em Engenharia.

A modelagem do conhecimento, segundo a teoria do conhecimento (HENLY; SPRAGUE, 2020b), colabora no desenvolvimento de um pensamento de segunda ordem sobre o conhecimento. Quando há abordagem sobre qualquer uma das áreas de conhecimento consideradas em um curso de engenharia (STEAM), aborda-se o “conteúdo” dessa área de conhecimento. Isso é o “pensamento de primeira ordem”, porque são questões que os estudantes dessas áreas de conhecimento formulariam durante o “fazer” de seu conteúdo. No entanto, ao considerar os elementos do modelo de conhecimento em relação a essas questões de primeira ordem, inicia-se o deslocamento para uma série de questões “sobre o conhecimento” das respostas a essas questões, não das respostas em si. Essas são as “questões de segunda ordem”, pois são sobre o saber das respostas fornecidas pelas questões de primeira ordem e, portanto, o foco não é baseado no conteúdo a ser aprendido pelo estudante, mas baseado na competência que ele poderá adquirir.

Consequentemente, o modelo conceitual irá inferir em conhecimentos de primeira ordem, aqueles relacionados aos conteúdos de STEAM, metodologias baseadas em

aprendizagem ativa, tecnologias educacionais e regulamentação, gerando conhecimentos de segunda ordem, as diretrizes estratégicas para concepção e atualização de cursos de engenharia, no contexto da Transformação Digital.

Portanto, espera-se que esses conhecimentos de segunda ordem, as diretrizes, colaborem para o desenvolvimento das competências dos estudantes de engenharia.

## 1.7 ADERÊNCIA AO PPGEGC

A necessidade de elicitare o conhecimento nos processos de Educação em Engenharia de uma instituição de ensino superior se alinha com a visão de mundo, de acordo com a Pirâmide Metodológica (SCHREIBER et al., 1999). Esta proposta de tese está sugerindo o uso de uma versão simplificada do *CommonKADS*, a *Lightweight CommonKADS* (SURAKRATANASAKUL, 2017), como ferramenta para construção de um **modelo conceitual** que ajudará na elicitação de **diretrizes para a concepção e atualização de cursos de graduação em engenharia**. Portanto, há aderência na Área de Concentração de **Engenharia do Conhecimento** e na linha de **Pesquisa de Teoria e Prática em Engenharia do Conhecimento**.

Entretanto, no decorrer desta tese, será possível perceber que o artefato precisou ser testado com especialistas em Educação em Engenharia que não tem conhecimento sobre a Engenharia do Conhecimento. Para tanto, a partir do modelo conceitual implementou-se um artefato tecnológico para gerir o conhecimento acerca da regulamentação vigente para a Educação em Engenharia, bem como o conhecimento que é gerado e compartilhado quando se faz a análise de Tecnologias Educacionais e das melhores práticas para se ter Educação Inteligente (nesta tese mantido o termo *Smart Education*). Sendo assim, pode-se dizer que a tese também possui aderência com a Área de Concentração em **Gestão do Conhecimento**, uma vez que os envolvidos nas decisões de concepção e atualização de cursos de engenharia trabalham em times e estão no nível de Núcleo Docente Estruturante, do Colegiado ou de grupos de trabalho que compartilham suas ideias e conhecimento gerado. Contudo, **o artefato produto desta tese não aborda as bases metodológicas ou outras ferramentas para a Gestão do Conhecimento**.

Além disso, o modelo conceitual possui a **comunicação entre os agentes de uma tarefa**, conforme descrito na metodologia *Lightweight CommonKADS*. Para poder exemplificar o seu funcionamento, a comunicação entre os agentes é realizada por meio de alguns fluxos

automatizados e outros manuais no artefato tecnológico. Em ambos os casos, a comunicação tem o intuito de compartilhar e disseminar o conhecimento no protótipo funcional do artefato. Sendo assim, há como dizer que a tese possui também alinhamento com a Área de Concentração em **Mídia do Conhecimento**. Mas da mesma forma que na Gestão do Conhecimento, **esta tese não se apropria de teorias e técnicas para a produção de mídias**.

Devido a facilidade de sombreamento do artefato de tese com as três áreas de concentração do PPGEGC, a limitação e delimitação da tese será discutida na próxima seção. Mas antes disso, um breve relato é feito a seguir sobre os trabalhos relacionados que foram encontrados no Banco de Dissertações e Teses do EGC (BTD-EGC).

Embora haja trabalhos relacionados (Quadro 1), nenhuma tese ou dissertação foi encontrada, propondo modelos conceituais na formulação de diretrizes estratégicas para a concepção de cursos de engenharia. Os primeiros trabalhos abaixo relatados abordam competências, sendo que estas compõem o conceito de *Smart Education*.

A tese “Modelo de Competências Docentes em Universidades Inovadoras Brasileiras Públicas” (COSTA, 2021) aponta que algumas competências docentes são fracas. Dentre elas

Quadro 1. Teses e dissertações relacionadas ao presente projeto de pesquisa.

Aderência	T/D	Autor/Título	Ano
Tema	T	Costa, Rejane. Modelo de competências docentes em universidades inovadoras brasileiras públicas	2021
Tema	D	Bellato, Rita Lucia. Percepções sobre as competências digitais para os profissionais da área de Contabilidade: um estudo de caso	2021
Tema	D	Aires, Regina Wundrack do Amaral. Desenvolvimento de Competências Gerais para a Sociedade em Transformação Digital: uma Trilha de Aprendizagem para profissionais do setor industrial	2020
Tema	D	Gomes Júnior, Waldoir Valentim. Gestão do Conhecimento e Mapeamento de Competências: Um Estudo de Caso	2013
Tema	D	Bresolin, Graziela Grandó. Modelo Andragógico de Plano de Aula à Luz das Teorias de Aprendizagem Experiencial e Expansiva	2020
Tema	D	Garcia, Rodrigo Guerra. O estudo exploratório do uso da realidade aumentada no período de pandemia da COVID-19 nos ensinos fundamental e médio	2021
Tema Modelo Método	T	Pereira. ICD: Metamodelo para institucionalização da Ciência Digital nas Instituições de Ensino Superior Brasileiras	2020
Método	D	Nascimento, Leandro Maciel. Canvas para Identificação do Perfil Empreendedor: um modelo conceitual com base na visão sistêmica	2020
Modelo Método Instrumento	T	Carneiro, Mônica Ramos. Instrumentalização do framework do desenvolvimento urbano baseado em conhecimento (KBUD) para suporte à tomada de decisão na governança das cidades	2020

Fonte: o autor, com base no BTD-EGC.

estão as de trabalho em rede, protagonismo digital, criatividade, facilitação e uso de tecnologias digitais. Todas são demandadas pela Transformação Digital. Portanto, a formação e atualização docente precisam fazer parte das diretrizes estratégicas. A tese envolve um dos *stakeholders* da Educação em Engenharia, o professor.

A dissertação “Percepções Sobre as Competências Digitais para os Profissionais da Área de Contabilidade: Um Estudo de Caso” (BELLATO, 2021) aborda a aprendizagem por competências demandadas pela Transformação Digital para o profissional de contabilidade. Muitas delas podem ser aplicadas aos profissionais de engenharia, pois são aquelas relacionadas às habilidades profissionais e atitudes pessoais.

A dissertação “Desenvolvimento de Competências Gerais para a Sociedade em Transformação Digital: uma Trilha de Aprendizagem para profissionais do setor industrial” (AIRES, 2020) relaciona um conjunto de competências para o trabalhador da Indústria 4.0, sem limitar as áreas de atuação. Mas percebe-se que muitas das competências requeridas nos relatórios do WEF e da OECD estão presentes na dissertação.

A dissertação “Gestão do Conhecimento e Mapeamento de Competências: Um Estudo de Caso” (GOMES JR, 2013) realizou o mapeamento de competências desenvolvidas e mostrou lacunas de competências existentes. Contudo, devido a idade da tese, é necessário ter atenção as competências atuais conforme a proposta da OECD, por exemplo.

A dissertação “Modelo Andragógico de Plano de Aula à Luz das Teorias de Aprendizagem Experiencial e Expansiva” (BRESOLIN, 2020) trata de planos de aulas a serem ministradas a jovens adultos. O trabalho também aborda que as instituições de ensino precisam se atualizar e se adequar as necessidades e estilos de aprendizagem dos estudantes, conforme as necessidades da Educação 4.0.

Um trabalho encontrado aborda o uso de Tecnologias Educacionais. A dissertação “O estudo exploratório do uso da realidade aumentada no período de pandemia da COVID-19 nos ensinos fundamental e médio” (GARCIA, 2021) relata como as instituições de ensino foram obrigadas a adotar o ensino remoto emergencial durante a pandemia do COVID-19. Para auxiliar nos processos, uma ferramenta que se destacou foi a Realidade Aumentada (RA). As Tecnologias Educacionais são consideradas como um dos pilares identificados na presente tese para a Educação em Engenharia. Contudo, o estudo da dissertação se relaciona a níveis de formação diferentes da presente proposta de tese. E está no nível operacional, enquanto o presente trabalho em nível organizacional de gestão acadêmica.

Sobre modelos conceituais, a tese “ICD: Metamodelo para institucionalização da Ciência Digital nas Instituições de Ensino Superior Brasileiras” (PEREIRA, 2020) falta sobre a necessidade das IES brasileiras responderem ao processo acelerado de Transformação Digital em todas as atividades humanas, incluindo o ensino e a pesquisa. A autora ressalta que cerca de 95% da pesquisa no Brasil é realizada em Universidades Públicas Federais. A tese também aborda como a Transformação Digital afeta a educação. Similar ao presente trabalho está o fato de a autora propor um metamodelo em níveis gerenciais das instituições de ensino. E o fato dela citar que o modelo pode ser aplicado por não existir diretrizes estratégicas em muitas IES. Importante ressaltar que a proposta dela também aborda a pesquisa nas IES, enquanto a presente proposta de tese está apenas para a Educação em Engenharia no nível de ensino na graduação. Embora haja pesquisa na graduação, a pesquisa a nível de pós-graduação não é o foco do presente trabalho. No caso da metodologia usada, PEREIRA (2020) também aplicou a DSR na elaboração do metamodelo, o artefato. A DSR é usada na presente tese para a concepção do modelo conceitual para formulação de diretrizes estratégicas.

Há outros trabalhos que usaram a DSR para guiar a construção de artefatos, um deles é a dissertação “Canvas para Identificação do Perfil Empreendedor: um modelo conceitual com base na visão sistêmica” (NASCIMENTO, 2020) utilizou o DSR como método para a construção de um artefato.

Finalmente, a tese de “Instrumentalização do framework do desenvolvimento urbano baseado em conhecimento (KBUD) para suporte à tomada de decisão na governança das cidades” (CARNEIRO, 2020), usou a DSR como método e o *CommonKADS* como instrumento que levou a instrumentação do framework a um sistema que é um artefato tecnológico.

## 1.8 LIMITAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O presente projeto de tese está **delimitado** a proposição de um modelo conceitual para concepção de diretrizes estratégicas na concepção e atualização de  **cursos de engenharia**, usando uma ferramenta específica da Engenharia do Conhecimento, a *Lightweight CommonKADS*, integrada ao método *Design Science Research*. Como a pesquisa foca na **Educação em Engenharia** e nos pilares que a suporta, o modelo conceitual proposto nesta tese é aplicável a  **cursos de engenharia**, especificamente no **nível gerencial**. Ou seja, para que coordenadores de curso, o NDE e o Colegiado usem o modelo como suporte na formulação de diretrizes.

A pesquisa não aborda como as diretrizes se desdobram a nível operacional na Educação em Engenharia. Por meio do modelo conceitual, diretrizes estratégicas podem resultar na sugestão de uso de ferramentas e metodologias para aplicação em nível operacional da Educação em Engenharia. Contudo, o “produto” desta tese é o modelo conceitual para formulação de diretrizes em nível macro.

O uso do modelo conceitual em outras áreas de formação, além daqueles sob responsabilidade das escolas de engenharia, não foi considerado. Portanto, se cabível e de interesse, pesquisas futuras em outras áreas de formação poderão ser realizadas.

Contudo, algumas características extrapolam a dimensão das escolas de engenharia, quando há necessidade de integração com outros recursos e setores da instituição de ensino superior. Isso também foi percebido na RSL, mesmo com a definição dos filtros nos dois eixos da pesquisa: Educação em Engenharia e Educação 4.0.

O modelo construído está **limitado** às fase de concepção e de design de soluções do *framework* “*Conceive, Design, Implement & Operate*” - CDIO (CRAWLEY, 2001; CRAWLEY et al., 2011). E parcialmente limitado à fase de implementação, pois precisou-se testar e validar o modelo conceitual por meio de um artefato tecnológico, mas sem total implementação, devido as dimensões que um curso de graduação em engenharia toma. Não é possível operar um modelo completo, considerando que nesta fase é preciso analisar e avaliar “em operação” um ou mais cursos de engenharia. Só a fase de operação para curso de engenharia no Brasil tem horizonte de 5 anos, considerando que a observação se daria desde o ingresso de calouros até a formatura de deles.

As entrevistas com especialistas em Educação em Engenharia, para o projeto (design) do modelo conceitual, se deram apenas no âmbito do PMG. Ou seja, com professores brasileiros envolvidos nos processos de modernização da Educação em Engenharia e com professores norte-americanos parceiros do PMG.

A avaliação de viabilidade e consistência do modelo conceitual foi realizada apenas com representantes dos cursos de engenharia das oito universidades participantes do PMG, considerando que são atores ativos em prol da modernização da Educação em Engenharia brasileira.

## 1.9 ESTRUTURA DO TRABALHO

A **introdução** deste trabalho apresenta a contextualização do fenômeno a ser pesquisado, os sub fenômenos gerados, o problema de pesquisa do mundo real e as partes interessadas. No capítulo 1, os objetivos, bem como a justificativa, relevância e ineditismo da pesquisa também foram apresentados. Além desses itens, este capítulo contém a aderência ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento (PPGEGC), limitações e delimitações.

O capítulo 2, de **fundamentação teórica**, apresenta os resultados da Análise Sistemática que foi realizada por meio de lentes para as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (matriz SWOT). As características do corpo da literatura mostram que as Tecnologias Educacionais e a *Smart Education* são os pilares para a Educação em Engenharia moderna.

O capítulo 3 contém apenas as **questões de pesquisa** formuladas após o corpo da literatura estudado.

O capítulo 4 apresenta os **procedimentos metodológicos**. Nele, a caracterização desta pesquisa é realizada, quanto à natureza, paradigma, método e abordagem. Na sequência, a *Design Science Research* (DSR), adaptada ao contexto da presente pesquisa, tem as suas 5 primeiras fases detalhadas. As fases 1 e 2 são de identificação e entendimento do problema, já apresentados no capítulo 1. A fase 3 mostra como a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi desenvolvida por meio do método *ProKnow-C* (*Knowledge Development Process – Constructivist*), para seleção, filtragem e análise do portfólio bibliográfico. A RSL também teve apoio com a ferramenta PROTOLIT (Processo de Tomada de Decisão Multicritério em Revisão Sistemática da Literatura em Pesquisas Científicas), para a análise bibliométrica. No Apêndice A, o detalhamento da RSL é apresentado. Na fase 4, um artefato útil a esta proposta de tese foi encontrado e a classe de problemas identificada. Na fase 5, o *Lightweight CommonKADS* é explicado, fornecendo informações de como o modelo conceitual para formulação de diretrizes estratégicas pode ser concebido.

O capítulo 5 apresenta o **projeto do artefato**, ou seja, o projeto do **modelo conceitual**. Para este capítulo, seguiu-se com as fases de 6 a 9 da DSR. Na fase 6, o projeto do artefato foi feito, enquanto na fase 6, o seu desenvolvimento e implementação. Na fase 8, especialistas em Educação em Engenharia avaliaram o artefato quanto a sua consistência e viabilidade. E na fase 9, a aprendizagem alcançada foi explicitada.

Por fim, o capítulo 6 apresenta a **conclusão do projeto de pesquisa de doutorado**. No capítulo, as fases 10 a 12 da DSR estão expostas. A fase 10 trata das conclusões em si, acompanhadas de algumas limitações da tese. Na fase 11 sugere-se a generalização de uma classe de problemas, onde o modelo conceitual pode ser usado. E por fim, na fase 12, a comunicação dos resultados já obtidos é apresentada, bem como uma sugestão de publicação futura.

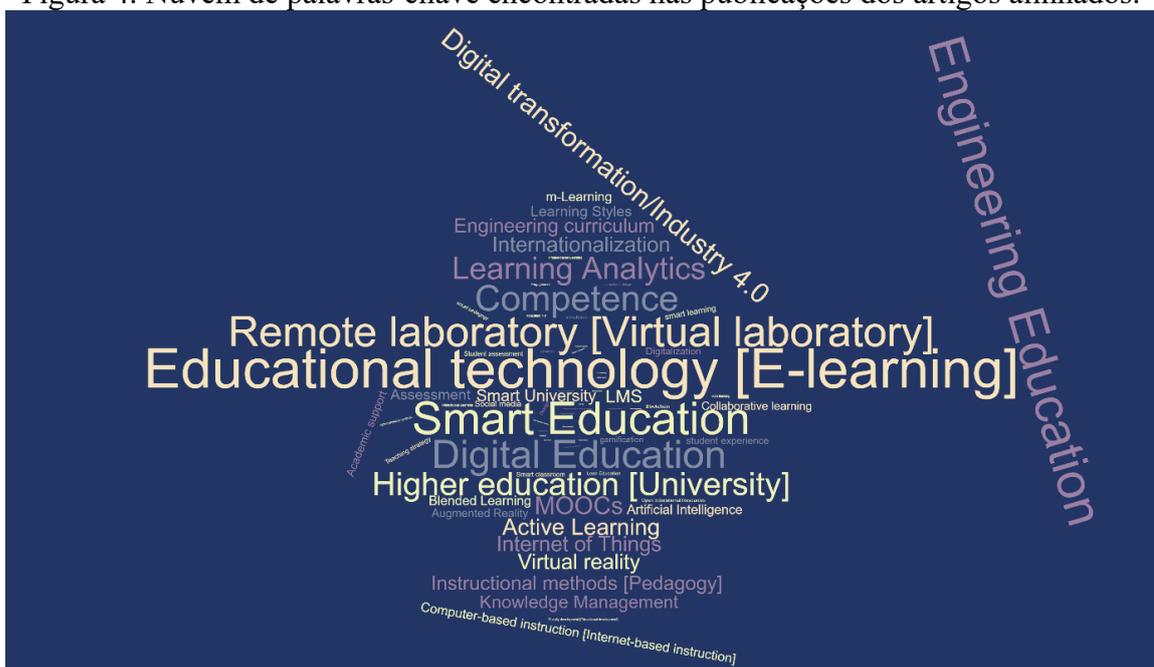
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os resultados da Revisão Sistemática de Literatura (RSL) estão primeiramente apresentados neste capítulo, pois fundamentam o presente projeto de tese. Eles são resultados dos procedimentos metodológicos adotados no Capítulo 4, especificamente provenientes da análise sistemática para apresentação das características do corpo da literatura.

### 2.1 ANÁLISE SISTEMÁTICA – CARACTERÍSTICAS DO CORPO DA LITERATURA

O corpo da literatura relevante para esta proposta de tese foi inicialmente definido pelos dois eixos da pesquisa para a Revisão Sistemática de Literatura (RSL): Educação em Engenharia e Educação 4.0. Para o primeiro, a investigação inicial se deu com foco em métodos de ensino-aprendizagem, ferramentas de avaliação e gestão de cursos de engenharia. Posteriormente, as palavras-chave da pesquisa para a RSL foram definidas, conforme o guia proposto na Taxonomia para a Educação em Engenharia (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015). Já para o segundo eixo, o interesse esteve sobre as tecnologias educacionais, competências, habilidades, atitudes e valores. Posteriormente, as palavras-chave foram definidas para a busca nas bases de dados. Após a leitura integral das publicações, a maioria dos termos utilizados para o eixo *Engineering Education* se mantiveram alinhados às palavras-chave escolhidas, conforme mostra a nuvem de palavras da Figura 4.

Figura 4. Nuvem de palavras-chave encontradas nas publicações dos artigos alinhados.



Fonte: O autor.

Contudo, a palavra-chave *Education 4.0* foi escolhida apenas 3 vezes para as publicações estudadas. Outros termos encontrados e alinhados ao eixo foram *Smart Education*, *Smart University*, *Digital Education*, *Learning Analytics* e outros. O detalhamento da RSL se encontra no “APÊNDICE A – Revisão Sistemática da Literatura: detalhamento.”

Diante desse cenário, se fez necessário definir as Top 3 palavras-chave da Tabela 1. Os três primeiros termos da tabela foram analisados com uma matriz SWOT (lentes) para relatar sobre as forças, oportunidades, fraquezas e ameaças em cada tópico.

A primeira palavra-chave analisada foi a de Tecnologia Educacional, com sua definição no próximo item.

Tabela 1 – Top 20 Palavras-chave da Revisão Sistemática da Literatura.

<b>Ordem</b>	<b>Palavra-chave</b>	<b>Frequência</b>	<b>Taxonomia</b>
1	<i>Educational technology</i> (sinônimo: <i>e-Learning</i> )	69	Sim
2	<i>Engineering Education</i>	48	Sim
3	<i>Smart Education</i>	42	Não
4	<i>Remote Laboratory</i> (sinônimo: <i>Virtual laboratory</i> )	28	Sim
5	<i>Digital Education</i>	24	Não
6	<i>Competence</i>	23	Sim
7	<i>Higher Education</i> (sinônimo: <i>University</i> )	22	Sim
	<i>Learning Analytics</i>	22	Não
9	<i>Digital Transformation/Industry 4.0</i>	19	Não
10	MOOCs ( <i>Massive Online Open Courses</i> )	16	Sim
11	<i>Active Learning</i>	15	Sim
12	<i>Internationalization</i>	14	Não
	<i>Virtual Reality</i>	14	Sim
	<i>Internet of Things</i>	14	Não
15	<i>Instructional Methods</i> (sinônimo: <i>Pedagogy</i> )	13	Sim
	<i>Engineering Curriculum</i>	13	Sim
17	<i>Learning Management System</i>	12	Sim
	<i>Knowledge Management</i>	12	Não
19	<i>Smart University</i>	11	Não
20	<i>Assessment</i>	10	Sim
	<i>Learning Styles</i>	10	Sim

Fonte: O autor.

### 2.1.1 Tecnologia Educacional (*Educational Technology* ou *e-Learning*)

Tecnologia Educacional e *e-Learning* são consideradas sinônimos e compõe uma ramificação na Taxonomia de Palavras-Chave para Pesquisas em Educação em Engenharia (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015). **Instrução baseada em computador** ou **instrução baseada em Internet** é um agrupamento para Tecnologia Educacional. Dentro dela constam os jogos e softwares educacionais. Outro conjunto para *e-Learning* é a **comunicação eletrônica**, composta por blog, e-mail, aplicativos para trabalho colaborativo, mensagens instantâneas, discussões online, repositórios online, mídias sociais e *streaming* de mídia. Outro agrupamento é o de **tecnologias de aprendizagem**, formado por aprendizagem computacional adaptativa, ambientes virtuais de aprendizagem, *clickers*, simulação, aplicações móveis, recursos educacionais abertos, dispositivos com tela sensível ao toque e realidade virtual. Por fim, dentro de *e-Learning* há as **modalidades de ensino**, como ensino híbrido, ensino à distância e laboratórios remotos.

Considerando que as tecnologias avançam a passos largos, inclusive as educacionais, elas são consideradas um importante pilar para a adoção da Educação 4.0, trazendo várias oportunidades para a Educação em Engenharia. Contudo, o assunto também mereceu análise quanto às fraquezas e possíveis ameaças. Nesse sentido, a Figura 5 traz a análise de forças, oportunidades, fraquezas e ameaças presentes na Tecnologia Educacional (*e-Learning*).

#### 2.1.1.1 Forças presentes na Tecnologia Educacional (*e-Learning*)

As tecnologias educacionais permitiram que a **educação** se tornasse **ubíqua**. A educação está presente em quaisquer locais desde que se tenha conexão com a Internet (AZEER; VAN DER VYVER, 2018; SHEAIL, 2018a). Tecnologias móveis e bibliotecas digitais são habilitadores para que uma cafeteria, um parque ou um meio de transporte público sejam transformados em ambientes flexíveis para estudo (HENDERSON; SELWYN; ASTON, 2017). Apesar da tecnologia de aprendizagem móvel (*mobile learning*) estar colaborando muito para a onipresença da educação, a universidade continua sendo um recurso para os estudantes que não têm tempo ou um lugar para os estudos. Por outro lado, a universidade passou a ter alcance e **audiência internacional** por meio de tecnologias educacionais, como os ambientes virtuais de aprendizagem (AVA) e impulsionada pelos **MOOCs** (*Massive Online Open Courses*).

Outra vantagem trazida pelo *e-Learning* foi a **inclusão social**, propiciando que comunidades distantes da universidade e com restrições de tempo e recursos passassem a ter acesso à educação superior (CAIRD; LANE, 2015). O tempo dispendido entre um ponto a universidade passou a ser empregado para os estudos, além de que os custos dos deslocamentos foram reduzidos (ELSAADANY; ABBAS, 2016; HENDERSON; SELWYN; ASTON, 2017). Entretanto, a tecnologia só permite a inclusão daqueles com acesso a ela. Nas ameaças, há a desigualdade.

Um benefício trazido pelas tecnologias educacionais é a transformação dos horários de estudos. As aulas presenciais síncronas continuam acontecendo, mas as aulas online síncronas e assíncronas foram incorporadas. O modelo de calendário acadêmico, que orienta o planejamento de um semestre letivo, dá espaço a outros **programas flexíveis**, com diferentes cargas horárias para disciplinas, módulos e cursos de curta duração. Ainda, um curso pode ser concluído sem preocupação com prazos fixos, colocando o aluno no seu tempo de aprendizado e em qualquer lugar (AZEEZ; VAN DER VYVER, 2018). Isso faz com que os estudantes, professores e a própria universidade enfrentem uma “recalibração” temporal, saindo do modelo tradicional de calendário acadêmico (SHEAIL, 2018a). Por outro lado, o *e-Learning* pode resolver o conflito de horários de aulas. Estudantes com esse tipo de problema poderiam ajustar a grade horária semestral de forma otimizada. Seria uma forma de manter o engajamento e reduzir as taxas de evasão (ELSAADANY; ABBAS, 2016).

Figura 5. Matriz SWOT para Tecnologia Educacional.



Fonte: O autor.

Uma característica sobre as tecnologias educacionais é que elas podem e devem ser usadas também em **aulas presenciais** e não apenas no **ensino à distância** e no **ensino híbrido** (DELGADO KLOOS et al., 2017). Um AVA serve de meio para aulas remotas e online, mas também é usado como repositório de arquivos para o ensino presencial. Além disso, pode ser usado como planejamento de aulas e utilizar ferramentas educacionais integradas. A **imersão 3D** é um exemplo. Apesar do poder de distração, tecnologias de imersão tridimensional recriam a atmosfera de ambientes de aprendizagem para quem está aprendendo remotamente (GENTÈS; CAMBONE, 2013), mas também oferecem experiências engajadoras com realidade virtual, aumentada e mista em sala de aula presencial.

Outras experiências engajadoras com tecnologias educacionais têm sido relatadas na aplicação de **redes sociais** com objetivos de aprendizagem (KROUSKA; TROUSSAS; VIRVOU, 2019). Os autores apontam diversas vantagens das redes sociais sobre os AVAs, principalmente no processo de tutoria. Em uma rede social há flexibilidade para os usuários na troca de conhecimento (HENDERSON; SELWYN; ASTON, 2017), enquanto num AVA, apenas o professor é quem organiza e distribui materiais de estudo. Mas obviamente, os autores também falam que as redes sociais precisam de melhorias para atender perfeitamente os objetivos educacionais, uma vez que o seu uso para a educação é recente. Por exemplo, não há ferramentas para avaliações.

Por fim, cabe destacar que os professores necessitam de tempo para se adaptarem ao uso de tecnologias educacionais. Entretanto, elas trazem vários benefícios. Dentre eles há a oportunidade de organizar os objetos de aprendizagem de maneira a reusá-los e atualizá-los quando necessário, economizando na criação e aplicando o tempo para melhoria das aulas. Uma forma de realizar isso seria organizar o material de aulas em um repositório de conhecimento. Isso poderia ser adicionado aos **OERs** (*Open Educational Resources*) para **uso e reuso** compartilhado com colegas de trabalho (DELGADO KLOOS et al., 2017).

### *2.1.1.2 Oportunidades oferecidas pela Tecnologia Educacional*

O Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) ainda não é considerado como uma força da Tecnologia Educacional, mas sim uma oportunidade (CASTAÑEDA; SELWYN, 2018). A justificativa é que o AVA tem sido utilizado apenas como ferramenta de gestão da aprendizagem e não como **instrumento para a aprendizagem**. Mais um benefício do AVA seria a adoção da **aprendizagem coletiva**. Segundo os autores, a *e-Learning* ainda é usada

individualmente, desfavorecendo a formação de competências para trabalho em equipe. Contudo, a pandemia da COVID-19 acelerou a adoção das tecnologias educacionais nos anos de 2020 e 2021 (após as publicações filtradas na RSL). As universidades e seus professores foram desafiados a incorporar metodologias baseadas em aprendizagem ativa e trabalhos em grupo dentro dos AVA.

A aprendizagem coletiva acabou sendo explorada de outra forma e usou jogos de computador como ferramenta para construção de ambientes virtuais de aprendizagem (SCHUSTER et al., 2015). Ou seja, escapou das soluções dedicadas à educação. O Minecraft foi usado como tecnologia educacional onde a colaboração virtual é percebida (os autores não tratam, mas isso é uma das características presentes na *Smart Learning*). A justificativa dos autores para uso do Minecraft foi que ferramentas dedicadas geram altos custos para as universidades que sempre trabalham com recursos limitados. Por outro lado, o jogo é desenvolvido em plataforma aberta. Além disso, não há necessidade de habilidades de programação para se construir os ambientes virtuais de aprendizagem. Ainda, os autores apontam que pesquisa futura irá provar a redução de custos da colaboração virtual sobre a presencial, por exemplo, com gastos com deslocamentos.

Por outro lado, alguns pesquisadores (ELSAADANY; ABBAS, 2016) sugeriram a análise dos AVA existentes e propuseram a incorporação de funcionalidades na *e-Learning* para torná-la um ambiente educacional inteligente. Isso inclui a autoavaliação dos testes, questões e exames, além da medição do progresso dos estudantes. Como o artigo é de 2016, muitas dessas funcionalidades já estão presentes nos AVA existentes, como o Blackboard. Este AVA permite a configuração de provas com autocorreção e análise de resultados. Isso permite que o professor revise conceitos daquelas questões que apresentaram rendimento abaixo do esperado. Contudo, os AVA ainda carecem de ferramentas de análise do desempenho dos estudantes. As ferramentas poderiam indicar automaticamente e individualmente o que cada estudante deve fazer para melhorar a sua performance acadêmica. Isto faz parte da *Learning Analytics*, uma das Top 20 palavras-chave.

Ainda, a **gestão acadêmica** também tem se beneficiado com as oportunidades trazidas pelas tecnologias educacionais. Assim como há oportunidades para as indústrias com a Transformação Digital, as universidades também têm se favorecido com os avanços trazidos pela Indústria 4.0. Neste sentido, o modelo tradicional de Instituição de Ensino Superior (IES) necessita de transformação e reposicionamento, com desenvolvimento de seus institutos de pesquisa para a identificação da relação entre a educação com a ciência e a própria evolução da

Indústria 4.0 (PROKOPENKO; KUDRINA; OMELIANENKO, 2019). Atualmente, a IES necessita de procedimentos de garantia da qualidade adequados, políticas de gestão inovadoras, padrões de curso orientados a prática educacional e estratégia alinhada às demandas da sociedade, mantendo a competitividade dos serviços educacionais. As tecnologias de informação e comunicação (TIC) permitem isso, mas é preciso aplicar reengenharia no processo educacional.

E com o avanço das TICs, outras oportunidades surgem, como o uso de **laboratórios virtuais** e as *smart classrooms*. Laboratórios virtuais fortaleceram as vantagens do ensino a distância, apesar de não substituírem os laboratórios reais (DELGADO KLOOS et al., 2017). Já as salas de aula inteligentes são impactadas pela adoção de tecnologias avançadas de aprendizagem (SPECTOR, 2018). A incorporação de sensores inteligentes em uma sala de aula irá permitir a obtenção de diversas métricas que podem ser relacionadas ao desempenho discente. A temperatura, umidade, intensidade de luz e volume de gases poderão ser integradas às imagens de câmeras inteligentes para medir o nível de atenção dos estudantes. Toda a informação obtida poderá ser processada em tempo real por algoritmos com Inteligência Artificial (IA). Então, um **sistema de recomendação** irá dizer ao professor quais são as melhores práticas para manter a atenção da turma (SOMMER et al., 2016).

Outras oportunidades trazidas por tecnologias avançadas para a aprendizagem estão relacionadas ao ensino informal e ao ensino personalizado, que passaram a ser possíveis. A aprendizagem não ocorre mais somente no ambiente formal de sala de aula presencial ou virtual. O estudante pode aprender a qualquer momento. Nesse sentido, a temporalidade do estudo deixa de ter calendário fixo. O tempo de cada aluno varia conforme a sua programação pessoal de estudos, abrindo caminho para o ensino personalizado em tempo e de maneira a incluir estudantes com diferentes conhecimentos prévios.

Ainda, a tecnologia também permite que mentorias e orientações ocorram em tempo real, bem como feedbacks em avaliações formativas. Outro benefício é que novas formas de avaliação e ferramentas para a preparação de aulas surgiram, fazendo com o ensino tradicional se torne obsoleto (SPECTOR, 2018). O autor também relata que as seguintes tecnologias irão transformar o futuro da educação: *wearables*, voz com IA 2.0, *learning analytics*, realidade virtual e neurociência.

Cabe destacar que a tecnologia educacional é considerada a mudança chave para o sucesso do ensino híbrido (ADEKOLA; DALE; GARDINER, 2017). O casamento entre aulas presenciais e atividades à distância só é possível com a adoção de tecnologias.

Alguns estudos apontam a educação híbrida como mais efetiva do que as outras formas de entregar conhecimento (DANILOV et al., 2019). Algumas razões são colocadas para a efetividade citada. O ensino híbrido coloca o estudante como ator ativo no processo de aprendizagem, por exemplo, ter que se autorregular para os momentos online. O estudante possui independência e motivação, uma vez que o ensino híbrido é interativo e mais interessante, mas ao mesmo tempo, o aluno precisa gerenciar o tempo e ser disciplinado. A flexibilidade também permite que uma aula seja lecionada de qualquer lugar do mundo, mesmo que alguns alunos estejam presentes fisicamente em uma sala da universidade. Há abertura e franqueza no ensino, onde a tecnologia permite constante comunicação entre professores e estudantes com frequentes feedbacks, para melhor compreensão entre as partes. Pode ser aplicada uma abordagem individual para que os professores possam agir conforme o ritmo da turma, permitindo que estudantes se mantenham interessados da forma como eles conseguem aprender.

Por fim, aulas síncronas flexíveis também são possíveis com tecnologias educacionais. Esse modelo de aulas é aquele em que o estudante escolhe assistir às aulas presencialmente ou de forma remota. A adoção de tecnologias avançadas de aprendizagem para fazer com que uma sala de aula se torne *smart* permite tal flexibilidade. A isto se alia a comodidade de estudar aonde for o melhor local, economia de tempo e de recursos com deslocamentos.

### 2.1.1.3 Fraquezas encontradas na Tecnologia Educacional

Na seção anterior, as oportunidades do AVA foram apresentadas. Contudo, a ferramenta mais utilizada para o *e-Learning* recebeu críticas de como é usada: **apenas para gestão** de aprendizagem (CASTAÑEDA; SELWYN, 2018). Portanto, a conclusão inicial é de que a utilização de AVA é mais adequada ao **ensino tradicional**, composto pela formação por **conteúdo**. Um problema enxergado em AVA para o ensino à distância é que ele torna o estudante uma pessoa com **formação individualista**, falhando na formação por competências que envolve colaboração (MACGILCHRIST; ALLERT; BRUCH, 2020). Sendo assim, os modelos educacionais deveriam evoluir do tradicional para o modelo “*smart*”, que é o de formação por competências, aproveitando melhor as oportunidades que as tecnologias educacionais proporcionam. Dentre elas está a de desenvolver habilidades de colaboração.

Há a preocupação de ser ter grupos heterogêneos em times colaborativos no *e-Learning*. O ideal seria agrupar alunos de acordo com as suas competências, ou seja,

heterogêneos, para que o trabalho seja realmente colaborativo (KALLEL; CHNITER, 2019). A justificativa é de que alunos que se destacam em determinado tema tendem a se juntar. Outra situação é quando os "procrastinadores" forçam a sua entrada em grupos que têm os alunos que se destacam e fazem todo o trabalho. Havendo times heterogêneos, espera-se que a colaboração faça todo o grupo crescer. Contudo, o professor precisa alocar tempo para saber quais são as competências de cada estudante e então formar grupos heterogêneos. O problema se torna maior ainda quando há turmas grandes, comumente encontradas no *e-Learning*. Há um projeto bio-inspirado na Otimização por Colônia de Formigas, uma técnica da IA (KALLEL; CHNITER, 2019), contudo não se encontra disponível para uso imediato.

Outros problemas apontados no sistema de ensino tradicional, mas com uso de sistemas online, são as impossibilidades de responder a todas as questões dos estudantes dentro de uma aula (ELSAADANY; ABBAS, 2016). O uso de fóruns pode aliviar essa dor, mas apenas depois de uma aula síncrona ter acontecido. Além disso, atrasos na disponibilização de material, inclusive de maneira online, têm gerado descontentamento por parte dos estudantes.

Outra fraqueza é o índice de **completude em MOOCs**: abaixo dos 20%. (KORABLEVA et al., 2019). Uma das razões para isso pode estar relacionada a uma interface desmotivadora e complexa de se usar, além de **pouco material mobile** para uso em *smartphones* e *tablets*. Navegação complexa em MOOCs leva estudantes e professores a gastarem tempo desvendando os caminhos de estudos e criação de material. Ou seja, muito tempo despendido em atividades indiretamente relacionadas a aprendizagem levam a desmotivação e desistências nos cursos. Como os estudantes preferem os *smartphones* ao invés de *laptops*, o conteúdo e o conhecimento a serem transmitidos precisam ser adaptados para a tecnologia móvel. Infelizmente, ainda há material que só pode ser visto em telas de computador.

Devido a necessidade de conexão, a **banda larga em áreas remotas** é considerada um desafio para as tecnologias educacionais (SPECTOR, 2018). A conectividade por meio do 5G é realidade em alguns países a partir de 2021, mas em outros ainda está começando ou apenas em discussão. Um exemplo é a realidade socioeconômica da África (AZEEZ; VAN DER VYVER, 2018), que é similar a muitos locais do Brasil. Há diversas regiões sem acesso à Internet. Até mesmo dentro das universidades há locais sem conectividade. A banda larga é necessária para conexões a aulas remotas síncronas, para se ter acesso em tempo real a laboratórios remotos, aulas remotas com áudio e vídeo ou apenas para executar vídeos gravados em alta definição.

Se por um lado, os ambientes educacionais de muitas escolas ainda carecem de tecnologia para alavancar o ensino moderno, muitos estudantes também são forçados a possuírem tecnologias adequadas às propostas educacionais. Há de se considerar os aspectos éticos e legais, quando se é exigido que os estudantes adquiram os próprios recursos educacionais. Alguns não querem, por considerar que é uma obrigação da universidade, outros não possuem os recursos necessários (ADEKOLA; DALE; GARDINER, 2017).

Contudo, fraquezas não estão presentes apenas para o lado dos aprendizes. Também há desafios para quem ensina. A relação entre o surgimento de novas tecnologias educacionais e a formação docente é desproporcional. Os professores não conseguem se atualizar no mesmo ritmo que as ferramentas de educação surgem (SPECTOR, 2018). Razões apontadas são a elevada carga de trabalho dos professores e falta de **competências digitais**. Da mesma forma que metodologias de ensino modernas têm sido introduzidas para melhor formar os profissionais do presente e do futuro, elas poderiam ser utilizadas como treinamento para os professores que necessitam desenvolver as competências digitais.

#### *2.1.1.4 Ameaças encontradas no campo da Tecnologia Educacional*

A tecnologia educacional atual depende da conexão de diversos sistemas a Internet. Esses sistemas contêm dados de estudantes, professores, informações administrativas de curso e da universidade, o que envolve **aspectos legais e éticos**. Portanto, um desafio é manter a segurança da informação, seja protegendo de ataques cibernéticos ou de uso inadvertido (SPECTOR, 2018). A segurança de dados requer tecnologia indireta à educação, dispendiosa, mas essencial. Já a manipulação de informações para uso interno e relacionamento dos envolvidos na comunidade acadêmica requer treinamento. Uma preocupação recente nesse sentido é o atendimento a Lei Geral de Proteção de Dados. Contudo, treinamentos também requerem aplicação de recursos, quase sempre limitados para muitas universidades.

Com relação a formação de professores, o que chama a atenção é o **baixo engajamento em treinamentos** em competências digitais para aplicar TICs nas aulas. Os motivos apontados são a falta de experiência dos instrutores e a falta de tempo para aplicar as tecnologias, ou ainda, falta dos recursos tecnológicos (TICs). Portanto, há necessidade de modelos de formação para professores mais engajadores (BALLADARES-BURGOS, 2018).

Outro desafio está relacionado aos modelos educacionais e formais oferecidos pelas universidades. A educação formal é ameaçada pelas tecnologias educacionais, quando os

aprendizes descobrem que o conhecimento está acessível em muitas fontes, bastando ter acesso à Internet. Por exemplo, os **nômades digitais** não precisam aprender dentro do espaço físico ou virtual de uma universidade. Devido a esta mudança da característica do aprendiz, ele pode aprender com plataformas abertas, colocando as universidades em pressão, inclusive as universidades públicas. Um nômade digital pode trabalhar para grandes corporações, sem escolaridade comprovada, desde que apresente competências digitais. Além disso, pode receber pagamento de grandes empresas, trabalhando à distância e vivendo pelo mundo, talvez em países tropicais com baixo custo de vida (MACGILCHRIST; ALLERT; BRUCH, 2020). Devido ao desafio presente para as universidades, há necessidade de atualização da proposta do valor educacional, que pode caminhar para a adoção das tecnologias educacionais, mas com formação por competências.

Porém, no momento da escolha, há de se pensar no equilíbrio entre a diversidade e convergência de novas tecnologias educacionais (SPECTOR, 2018). Devido a enorme variedade de opções, as escolas precisam tomar decisões estratégicas de maneira a convergir nas escolhas, para que a formação seja completa e integrada, não apenas com usos isolados de tecnologias, sem sentido para a formação por competências. É preciso que as tecnologias sejam aplicadas no contexto das disciplinas.

Mais um problema é encontrado na priorização no desenvolvimento da IA para máquinas, ao invés de se investir no desenvolvimento da inteligência das pessoas (SPECTOR, 2018). A IA é essencial para o desenvolvimento das tecnologias educacionais, mas não se pode esquecer que pessoas ainda são necessárias para conceber, projetar, implementar e operar tecnologias.

Outra ameaça é a **falta de adoção** de tecnologias educacionais. Isto pode estar relacionada ao **alto custo** de implementação e suporte ao professor. Nada se pode fazer a respeito dos custos de implementação, eles sempre existirão. Entretanto, as tecnologias podem suportar professores e ajudar a gestão de cursos, trazendo benefícios a médio e longo prazo.

Contudo, é imperativo dizer que sem IA, *Learning Analytics*, AVA, softwares adaptativos, e outras tecnologias educacionais não haverá escola (MACGILCHRIST; ALLERT; BRUCH, 2020). Desta forma, percebe-se uma desigualdade na formação, considerando o cenário global. As **desigualdades** no mundo também são ameaças, enquanto os países ricos têm recursos para inovar cada vez mais, os pobres sofrem com a **falta de recursos**.

Ainda em relação a **desigualdade**, ao mesmo tempo que a tecnologia reduz distâncias e promove a inclusão social daqueles que não teriam condições de se deslocar até a

universidade, há aqueles que nem acesso a tecnologia possuem. Ou o acesso é limitado. Isso é percebido em países com acesso facilitado e aqueles que carecem de tecnologia (SHEAIL, 2018b).

### 2.1.2 Educação em Engenharia (*Engineering Education*)

O relatório *The global state of the art in engineering education* (GRAHAM, 2018) aponta quais são as universidades líderes e emergentes na Educação em Engenharia. O *Olin College of Engineering*, MIT, *Stanford University*, *Aalborg University* e *TU Delft* figuram entre as líderes. Por outro lado, as emergentes são a *Singapore University of Technology and Design*, novamente o *Olin College of Engineering*, a *University College London*, a Pontifícia Universidade Católica of Chile e a *Iron Range Engineering*.

As universidades líderes na Educação em Engenharia são, em geral, instituições bem estabelecidas nos Estados Unidos da América (EUA) e na Europa. A definição da Educação em Engenharia pode ser dada pelas boas práticas que essas renomadas instituições têm conduzido. Experiência centrada no estudante, empreendedorismo conduzido pela tecnologia, aprendizagem ativa baseada em projetos (PjBL) e foco no rigor com os fundamentos da engenharia são exemplos de ações que colocam as universidades no topo. A experiência centrada no estudante significa colocá-lo como ator ativo no processo de ensino-aprendizagem. O aluno deixa de ser apenas passivo e o professor passa a ter o papel principal de orientação e não mais o detentor de todo o conhecimento. O empreendedorismo tem sido peça fundamental para se colocar a tecnologia no mercado. Assim, o protótipo passa a ter um propósito real e não meramente acadêmico. Além de formar profissionais para o uso e aplicação de tecnologias existentes, competências são desenvolvidas para a criação de novas tecnologias, desenvolvendo tecnologicamente a Sociedade local. A PjBL é uma das metodologias de ensino mais usadas na engenharia. Projetos são oportunidades para os estudantes aplicarem o conhecimento obtido com contexto, desenvolvendo as habilidades profissionais, atributos pessoais e valores, portanto, formando competências. Por fim, os fundamentos da engenharia ainda são e continuarão sendo os alicerces para a formação de engenheiros competentes.

Contudo, a Educação em Engenharia tem complementação ou atualização em sua definição por meio das inovações trazidas pelas universidades líderes emergentes. O relatório aponta que os novos cursos de engenharia nessas instituições surgiram de propostas “limpas”, sem vícios, ou de reformas educacionais profundas, ou ainda por necessidades e preocupações

do entorno. A aprendizagem baseada em trabalho (WBL), cursos multidisciplinares, foco no projeto de engenharia e autorreflexão do estudante são características das novas propostas para a Educação em Engenharia. A WBL é eficaz quando se coloca o estudante para aprender diretamente no campo de trabalho. Com uma análise superficial, a WBL se parece com o estágio supervisionado. Mas a proposta da WBL é mais completa e aprofundada, sendo uma metodologia trabalhada entre universidade e empresa para efetiva formação de competências para o profissional de engenharia. Já a proposta de cursos multidisciplinares visa formar engenheiros com múltiplas competências, também multidisciplinares. Agora, o foco dispendido no projeto de engenharia (*engineering design*) visa aplicar os fundamentos da engenharia com propósito e não apenas resolver exercícios e problemas. O conhecimento de engenharia é efetivamente aplicado para o projeto, caracterizando a real necessidade de se ter engenheiros: projetar. Por fim, a autorreflexão do estudante o coloca novamente no centro do processo educacional, fazendo com o que mesmo faça uma avaliação da própria aprendizagem.

Mas tudo isso só tem sido possível devido as iniciativas conduzidas por liderança acadêmica visionária. A inovação educacional é aplicada por corpo docente com mentalidade de inovação e aplicação de novas ferramentas, como modelos de aprendizagem inovadores e ferramentas modernas para avaliação dos estudantes.

Diante do cenário conduzido por dois tipos de liderança, percebe-se que universidades tradicionais com programas de engenharia consolidados, mas também outras instituições recentes e seus cursos orientados pela inovação, ditam o caminho para a Educação em Engenharia.

As pesquisas no campo da Educação em Engenharia são fortes nos Estados Unidos da América (EUA) e em outros países, principalmente, da Europa. Tanto que muitas universidades daqueles países possuem departamentos de Educação em Engenharia, suportando pesquisas para as diversas especialidades das engenharias. Por outro lado, não há registros de departamentos dedicados neste campo de pesquisa no Brasil. Mas há trabalhos isolados que desenvolvem pesquisas relacionadas nas universidades brasileiras. Também há revistas e eventos focadas na Educação em Engenharia, promovidas pela Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE). A associação publica a Revista de Ensino em Engenharia e promove anualmente o COBENGE (Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia). Eventualmente, a ABENGE também publica alguns livros sobre o tema.

Como realizada na seção anterior, a análise SWOT foi aplicada para a Educação em Engenharia, conforme a Figura 6. As lentes para a fundamentação teórica estão sob as forças, oportunidades, fraquezas e ameaças encontradas no campo da Educação em Engenharia.

### 2.1.2.1 Forças presentes na Educação em Engenharia

“Pesquisa em Educação em Engenharia é um campo de crescente proeminência, alcance global e fundamentação teórica” (JOHRI; OLDS, 2011). A multidisciplinaridade de abordagens e as parcerias que têm sido feitas são fatores positivos para a Educação em Engenharia. Nas abordagens de ensino estão a aprendizagem por analogia, colaboração, modelagem, design e muitas outras. a Educação em Engenharia “empresta” a educação em ciências e em matemática, bem como modelos teóricos e metodológicos. Contudo, pode-se dizer que a Educação em Engenharia não está preocupada apenas com a formação em temas técnicos/de engenharia. Os educadores precisam instruir seus estudantes a desenvolverem habilidades analíticas, de comunicação e de trabalho em equipe. Enquanto métodos de ensino inovadores têm sido aplicados, ainda se estuda como melhorar o desenvolvimento dessas habilidades. Um caminho é o desenvolvimento de ambientes flexíveis de aprendizagem que colocam os estudantes em situações para aplicar o conhecimento com contexto, desenvolvendo as habilidades profissionais e pessoais. Esses ambientes precisam recriar o mundo real

Figura 6. Matriz SWOT para a Educação em Engenharia.



Fonte: O autor.

multidisciplinar. Ou seja, o ambiente de aprendizagem deve se adequar às atividades e não o contrário.

A representação do mundo real para a Educação em Engenharia pode ser realizada por meio da adoção de tecnologias educacionais e parcerias com o setor produtivo e com a Sociedade, com a aplicação das abordagens de ensino-aprendizagem. A Educação em Engenharia é conhecida por ter laboratórios para a aprendizagem prática nas diversas especialidades existentes. Entretanto, a formação por competências vai além das aulas práticas. O estudante de engenharia precisa aplicar o conhecimento adquirido com contexto, em situações reais, sejam problemas do setor produtivo ou desafios presentes na Sociedade. Aliás, o relatório do MIT sobre o estado da arte global da Educação em Engenharia (GRAHAM, 2018) afirma: a Educação em Engenharia deve, além de formar profissionais competentes, solucionar os problemas do setor produtivo e os desafios encontrados na Sociedade.

A Educação em Engenharia se fortalece com a adoção de tecnologias educacionais alinhadas com metodologias baseadas em aprendizagem ativa que recriam o ambiente empresarial dentro da universidade e além dela. As tecnologias educacionais devem ser tratadas aqui como quaisquer tecnologias que permitem a Educação em Engenharia acontecer. Dentre elas, estão as utilizadas nos laboratórios para as atividades práticas, mas também as tecnologias de informação e comunicação que permitem o ensino ser online e híbrido. Adicionalmente, há recursos e plataformas digitais para promover a aprendizagem colaborativa no ambiente presencial ou virtual. Enquanto tecnologias educacionais recriam o ambiente tecnológico de uma indústria, a Educação em Engenharia também se favorece pela incorporação de abordagens de ensino para simular uma atmosfera empresarial. Por exemplo, a aprendizagem baseada em projetos (PjBL) é ideal para simular ou até mesmo resolver os problemas reais das indústrias. Essa abordagem educacional promove a formação práticas em temas da engenharia, mas também a organização, trabalho em grupo, gestão de tempo e gestão de projetos (DAS; KLEINKE; PISTRUI, 2020). Por sua vez, para a solução de desafios reais de engenharia encontrados na Sociedade, a aprendizagem baseada em desafios (CBL) é uma boa alternativa. Com essa metodologia de ensino, os estudantes encaram o desafio em parceria com os principais *stakeholders* (APPLE, 2010). A partir de uma “grande ideia”, os estudantes podem interagir com as partes interessadas de forma a definir uma questão problema e delinear o real desafio. O engajamento dos estudantes com a Sociedade colabora com o desenvolvimento de habilidades profissionais, atributos pessoais e valores.

Outra fortaleza para a Educação em Engenharia é a existência de órgãos acreditadores. ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*) é um exemplo. Outro é a rede europeia para a acreditação da Educação em Engenharia (ENAAE - *European Network for Accreditation of Engineering Education*) que possui várias instituições acreditadoras como membros. Ambas fornecem padrões de qualidade para a Educação em Engenharia. A ABET influencia a adoção de práticas *lean* nas operações da universidade, com foco em melhoria contínua do processo educacional. Sendo acreditado pela ABET ou qualquer outra instituição certificadora, estudantes, empregadores e a Sociedade se tornam confiantes que o curso atinge os padrões de qualidade na preparação da força de trabalho para o mercado global (SHAFEEK, 2019). Isso acaba trazendo oportunidades para a Educação em Engenharia.

### 2.1.2.2 Oportunidades trazidas pela Educação em Engenharia

Na verdade, a confiança provocada por uma acreditação internacional faz com que diversas oportunidades sejam geradas. Um aluno ingressante na engenharia pode se sentir mais confortável em relação à qualidade do curso, criando motivação extra na continuidade dos estudos. Conseqüentemente, a gestão acadêmica poderá esperar por melhores indicadores. Pelo lado dos empregados, estes podem confiar em cursos que seguem padrões rígidos de qualidade. Por fim, a Sociedade irá contar com profissionais competentes para a solução de desafios reais de engenharia.

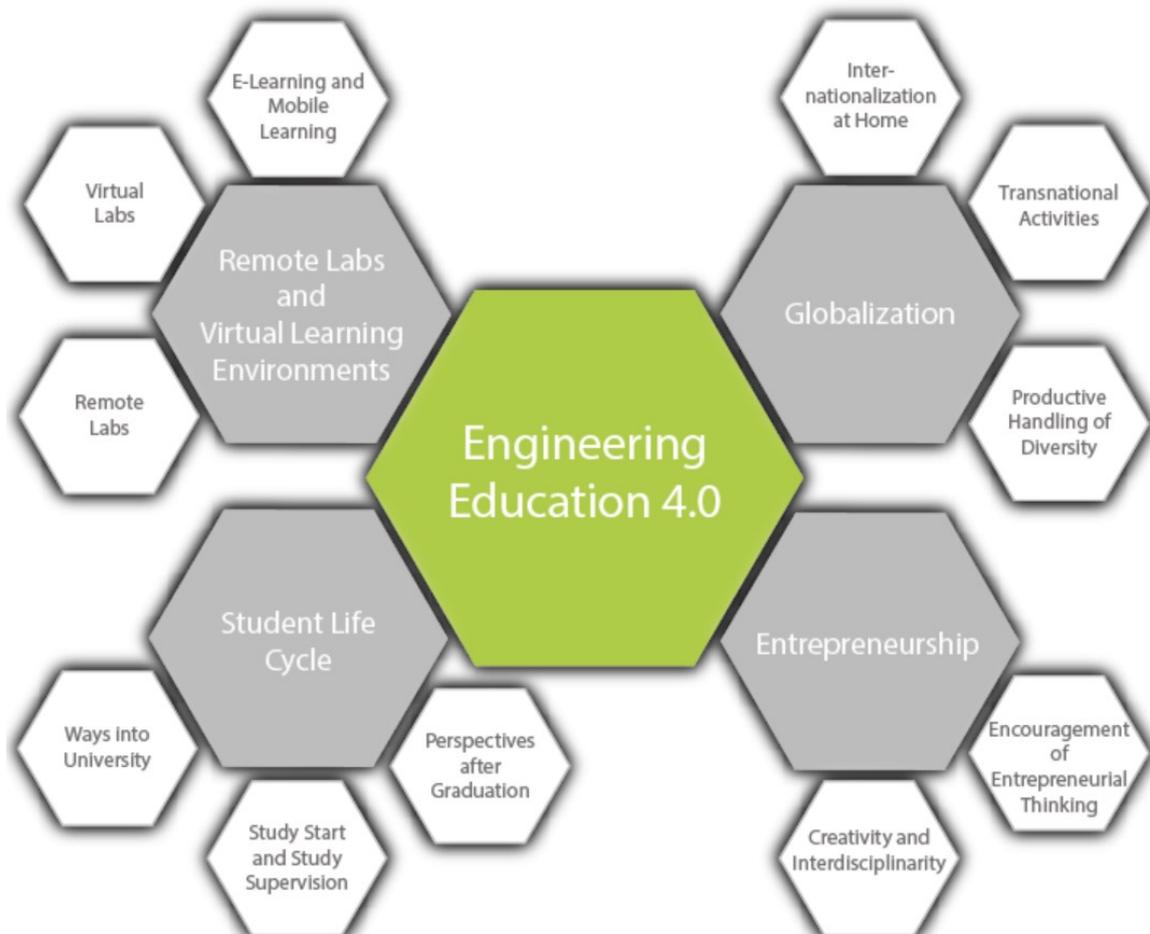
Contudo, há apenas dois cursos de engenharia acreditados internacionalmente no Brasil, em apenas uma universidade (consulta em 05 de abril de 2023, no sítio da ABET: <https://amspub.abet.org/aps/name-search?searchType=institution>). Por hora, todos os cursos de engenharia no Brasil devem se desenvolver quanto ao disposto no Instrumento de Avaliação de Cursos de Graduação: Presencial e a Distância (BRASIL, 2017b). Mas este instrumento é falho em questões de internacionalização. Ele apenas avalia se há apoio ao discente em intercâmbios internacionais. Por outro lado, as novas Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de engenharia (BRASIL, 2019a) têm inspiração em instrumentos de instituições acreditadoras internacionais. Portanto, as novas DCNs trazem oportunidades alinhadas com a proposta de modernização da Educação em Engenharia brasileira (CAPES-CNE-COMISSÃO FULBRIGHT, 2018; FULBRIGHT BRASIL, 2018; OLIVEIRA, 2019b).

A modernização da Educação em Engenharia no Brasil pode ser realizada pela proposição de novos cursos ou atualização dos existentes, mas alinhados às demandas da

Transformação Digital (ou Indústria 4.0). Iniciativas têm sido realizadas em diversos países, como no México, pelo Instituto Tecnológico e de Estudos Superiores de Monterrey, com uma nova proposta de currículo para a Educação em Engenharia 4.0 (RAMIREZ-MENDOZA et al., 2018). Este novo curso mantém a sólida formação da base da engenharia nos primeiros anos, evolui para a formação específica e incorpora habilidades profissionais e atitudinais para a formação de competências gerais. Na verdade, “A reforma da Educação em Engenharia inclui o reforço da base matemática da engenharia, mas com o aumento do foco de projeto e trabalho em laboratório, enfatizando habilidades de comunicação e sociais. Também é preciso integrar o chamado *liberal arts*, particularmente as ciências sociais, incorporando bom ensino, o desenvolvimento contínuo do currículo e o incentivo aos estudantes para o *lifelong learning*.” (GODWIN; POTVIN, 2017)

Ações de modernização foram realizadas também na Europa. O projeto ELLI2 (*Excellent Teaching and Learning in Engineering Science*) é mais um exemplo que inspira oportunidades (FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH, 2020). A

Figura 7. Projeto ELLI2.



Fonte: FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH (2020).

iniciativa foi conduzida por três universidades alemãs em prol da Educação em Engenharia 4.0, desenvolvendo laboratórios remotos e ambientes virtuais de aprendizagem. Além disso, promoveu um ciclo de vida para o estudante, o desenvolvimento de competências globais e empreendedorismo (Figura 7).

É importante comentar que as duas iniciativas anteriores carregam o termo “Educação em Engenharia 4.0”. Ou seja, a união dos dois eixos da RSL desta proposta de tese (ver Figura 67, no “APÊNDICE A – Revisão Sistemática da Literatura: detalhamento”). Nesse sentido, também é importante descrever as oportunidades que a Educação 4.0 traz para a Educação em Engenharia. Na reconfiguração da Educação em Engenharia, surgiu uma pergunta (DAS; KLEINKE; PISTRUI, 2020): “A Indústria 4.0 precisa da Educação 4.0”? A forma que os autores definiram a Educação 4.0, de acordo com Fisk (FISK, 2017), apresenta novas oportunidades para a Educação em Engenharia.

A proposta alinhada a Transformação Digital coloca que a nova **Educação em Engenharia pode ocorrer a qualquer tempo e em locais diversos**, com a adoção do *blended e flipped learning*. O **ensino personalizado** também entra em cena. Cada estudante no seu tempo e com ferramentas adaptativas para que o aluno evolua conforme o seu nível de conhecimento. Feedbacks individuais e encorajadores também podem estimular o aluno a seguir em frente com os estudos, consequentemente reduzindo a evasão. Alinhado a isso, há a **escolha livre de estilos de aprendizagem**, com combinação de ferramentas e metodologias, pois cada aluno tem o seu estilo, diferentes recursos, programas e técnicas para estudar. Portanto, **o estudante é o dono da sua aprendizagem**. Ele desenha o currículo, conforme a sua intenção de formação. Aqui também há uma oportunidade para incorporação do ensino informal. Na verdade, muito do que um estudante de engenharia aprende acontece fora do ambiente de sala de aula. E, infelizmente, esse tempo não é contabilizado para a formação do estudante. Portanto, tem-se a oportunidade de buscar meios para que esse tipo de educação seja valorizado. Um exemplo é dado pela simulação do mundo real para que as habilidades de ensino dos professores sejam transferidas para dentro de plataformas virtuais, como jogos adaptados para a Educação em Engenharia (RICHERT et al., 2016).

Outra oportunidade, de acordo com a definição de Fisk para a Educação 4.0 (FISK, 2017), é a adoção da **PjBL** para aplicação em situações reais, onde o estudante desenvolve o senso de organização, o trabalho em grupo, a gestão de tempo e de projetos etc. As situações reais acabam colocando o estudante em **experiência de campo**. Além dos estágios supervisionados, os estudantes podem receber mentoria das empresas e realizar projetos de

forma cooperativa. A indústria pode ser requisitada a sugerir ideias de projetos para estudantes de graduação em todos os níveis, que deve considerar a disponibilização de alguns funcionários de engenharia a participar como facilitadores da aprendizagem ou como tutores. Esta é uma abordagem adotada pela Purdue University, considerada uma das melhores universidades para a Educação em Engenharia. A instituição coloca a transformação da Educação em Engenharia como um problema holístico que requer atenção para muitos detalhes em um plano estratégico (BEANLAND; HADGRAFT, 2013). Por outro lado, também há os desafios presentes na Sociedade. As soluções podem ser dadas pela adoção de engenharia e tecnologia, incorporando "sustentabilidade" na Educação em Engenharia. Uma equipe pode visitar locais que necessitam de soluções. Depois, os problemas são levados a universidade, onde os professores incorporam às aulas (WILLICKS et al., 2017). Dependendo do método instrucional, os alunos se deparam com o PjBL ou CBL. Nesse sentido, o professor passa a prestar **mentoria**, auxiliando o estudante de engenharia a escolher as melhores metodologias, ferramentas e tecnologias na busca por uma solução a um projeto da indústria ou desafio da Sociedade.

Se problemas da Sociedade ou da Indústria são objetos para a aprendizagem, também há a oportunidade de escutar todas as partes direta e indiretamente interessadas. Os *stakeholders* são os pais, estudantes potenciais, escolas secundárias, estudantes, gerentes acadêmicos, funcionários, liderança da universidade, engenheiros, empregadores, governança da universidade, egressos, organizações profissionais, agências de acreditação, governo e ministérios (BEANLAND; HADGRAFT, 2013).

Contudo, a Educação 4.0 também impõe **avaliações transformadoras**, quando elas são feitas para se medir as competências na solução de projetos e desafios. Por exemplo, rubricas com feedback construtivo. Dificilmente uma prova consegue medir e oferecer feedback valioso.

Por fim, a Educação 4.0, de acordo com Fisk, também necessita da **interpretação de dados**. Avaliar por competências é mais complexo do que avaliar com provas e trabalhos. Há uma explosão de avaliações formativas e somativas que alimentam o "Big Data" educacional. Para tanto, a gestão de cursos precisa ter competência para *data analytics*. Assim, como a indústria trata dados como o novo petróleo, a Educação em Engenharia pode extrair riquíssimas informações escondidas na imensa massa de dados educacionais (notas, frequências, dados pessoais sensíveis etc.).

### 2.1.2.3 *Fraquezas encontradas na Educação em Engenharia*

Considerando a análise SWOT sobre o portfólio bibliográfico, sete principais fraquezas foram encontradas na Educação em Engenharia: a estrutura monodisciplinar das escolas de engenharia, a formação por conteúdos, a desconsideração do tema “sustentabilidade” nas matrizes curriculares, cursos locais, baixa atratividade de jovens e pouca diversidade de público.

De acordo com um relatório do MIT (GRAHAM, 2018), uma das principais barreiras para a Educação em Engenharia é a estrutura departamental especializada e existente dentro de boa parte das escolas de engenharia pelo mundo. Os especialistas entrevistados no relatório apontam que essa fraqueza inibe a multidisciplinaridade e transdisciplinaridade. Cada departamento de programa de engenharia disputa escassos recursos com outros cursos, enquanto deveriam unir forças para projetos conjuntos e mais relevantes para o Setor Produtivo e a Sociedade, considerando que os ambientes de ambos são multidisciplinares por natureza. Além disso, sobreposição de atividades acadêmicas e administrativas são notadas, comprovando que o uso de recursos poderia ser otimizado. Uma prova disso é a existência de disciplinas similares em vários cursos, mas com nomes diferentes em suas matrizes curriculares.

Quando se leva em conta a Educação 4.0, uma fraqueza evidente apontada pela literatura é a prescrição de currículos padronizados pelas instituições de ensino no modelo tradicional de ensino. Até mesmo a ABET é criticada, pois entende-se que programas de engenharia foram concebidos para serem cursados em uma linha de tempo fixa e com matrizes curriculares padronizadas, o que acaba não favorecendo a formação por competências para a Indústria 4.0 (DAS; KLEINKE; PISTRUI, 2020). Refém da uniformização, o estudante esquece e fica inapto a conectar os temas das disciplinas, devido ao longo tempo entre tópicos que foram aprendidos ao longo do curso, deixando de desenvolver as competências.

Algo necessário para o desenvolvimento de competências é a inclusão transversal da sustentabilidade nos currículos de engenharia. Contudo, os cursos de engenharia são apontados como falhos, uma vez que a sustentabilidade não tem sido incorporada no currículo por falta de qualificação e maturidade de professores, bem como de estudantes (WILLICKS et al., 2017). Historicamente, professores de engenharia foram formados para o ensinar temas técnicos. Quando a sustentabilidade aparece como tema obrigatório para a Educação em Engenharia, um profissional especialista no tema é trazido para disseminar o conhecimento específico, mas sem

contexto ou interdisciplinaridade. Já os estudantes também não conseguem autonomamente conectar os temas específicos com sustentabilidade sem orientação apropriada.

Outra fraqueza apontada na literatura é sobre a abrangência apenas local de muitos programas de Educação em Engenharia. Enquanto o estudo do MIT aponta que a Educação em Engenharia deve ser usada como instrumento para solução de desafios da comunidade local (GRAHAM, 2018), um engenheiro deve possuir competências para atuar de forma internacional (MAY; TEKKAYA, 2014). A pandemia do COVID 19, que assolou o mundo nos anos de 2020 e 2021, evidenciou a internacionalização dos negócios empresariais. As distâncias foram encurtadas pela tecnologia, permitindo que equipes globais trabalhassem em conjunto na solução de um mesmo problema. Contudo, o tema de globalização da Educação em Engenharia já era requisito das agências acreditadoras, como a ABET e a JABEE (*Japan Accreditation Board for Engineering Education*), mas a maioria dos cursos de engenharia deixa de abordar demandas de internacionalização (MAY; TEKKAYA, 2014).

Outro ponto preocupante é a baixa atratividade de jovens para a Educação em Engenharia. A mão-de-obra futura para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias não tem se interessado pela carreira. Portanto, há necessidade de usar vários meios para atrair jovens talentos para os estudos (ZEUCH et al., 2014). Por exemplo, o projeto alemão ELLI oferece orientação para a organização acadêmica aos estudantes. É uma ação presente no braço "*Student Life Cycle*" (Figura 7), onde os professores interagem com os interessados.

Se atrair jovens é difícil, equilibrar o público feminino e masculino em especialidades das engenharias é ainda mais complexo. O problema de diversidade é histórico na Educação em Engenharia. Os cursos sempre foram dominados pelo público masculino, caracterizando erroneamente a engenharia como uma profissão destinada a homens. Quanto à diversidade, a cultura disseminada na formação prévia para o ensino superior ainda causa segmentação de profissões (GODWIN; POTVIN, 2017). As especialidades da Química, Produção e Civil possuem mais mulheres, contudo, ainda de forma insuficiente para o equilíbrio de gênero na profissão.

#### 2.1.2.4 Ameaças encontradas na Educação em Engenharia

A Educação em Engenharia também enfrenta algumas ameaças. Dentre elas, se destacaram a evasão de estudantes, o despontamento de grandes grupos como líderes

educacionais por meio do uso de tecnologia, falta de recursos e inércia das instituições tradicionais.

A **evasão de estudantes** sempre foi uma ameaça à Educação em Engenharia. O ensino tradicional, com cobrança pesada em disciplinas sem aplicação de contexto, gera desmotivação e chances dos estudantes desistirem da carreira. Não é o caso de simplificar a aplicação das disciplinas fundamentais da engenharia, como Cálculo e Física, mas sim o bom emprego delas em situações contextualizadas, mantendo a motivação dos estudantes. Além disso, é necessário criar um ambiente que suporte a identidade dos estudantes, criando oportunidades na área de engenharia (GODWIN; POTVIN, 2017). Cada um tem um estilo de aprendizagem e interesses pessoais para a formação. Muitos acabam desistindo da carreira por não se encaixarem nos modelos padronizados de currículos e operação dos cursos. Outros acabam por se formar sem o aproveitamento desejado, criando uma imagem negativa sobre a Educação em Engenharia e desestimulando novos ingressantes. Por fim, há os poucos que se encaixaram nos modelos sugeridos e únicos a disseminarem uma imagem de uma carreira nobre. Esse cenário afeta as operações de um curso no que se refere a sustentabilidade. No caso de instituições particulares, a conta é simples: menos alunos, menos recursos disponíveis. Portanto, evasão menor ou nula pode significar cursos menos onerosos financeiramente e maiores oportunidades de investimento. Para as universidades públicas, menor evasão pode significar melhor uso dos recursos públicos. Então, surge a necessidade do ensino personalizado para suportar as identidades únicas de cada estudante. Cada estudante tem as suas necessidades específicas, bem como dificuldades. O importante é mantê-lo motivado para a sustentabilidade da instituição de ensino, bem como da Sociedade que necessita de profissionais qualificados para a Transformação Digital da Indústria.

Lidar com **poucos recursos** também pode afetar o desenvolvimento da universidade e a Educação em Engenharia. Recursos limitados podem resultar em baixo investimento. Portanto, um fator que é apontado como ameaça é a disparidade que pode ocorrer entre instituições de ensino locais e do mundo todo devido ao poder de investimento de cada uma. Por exemplo, a China tem planos para se tornar líder no desenvolvimento de tecnologias com Inteligência Artificial (KNOX, 2020). O país entende que há preocupações pedagógicas, portanto deve sair do ensino tradicional para um mais inovador. Ou seja, da formação por conteúdo para a formação por competências. Para tanto, há alinhamento das políticas do governo com as estratégias empresariais e os objetivos educacionais. Algo que não se vê no

Brasil. Outro exemplo de alinhamento dos objetivos do governo com a educação é o caso do Chile (GRAHAM, 2018).

Como a China precisa formar a força de trabalho com competências de Inteligência Artificial (IA), o país propôs uma agenda para se estabelecer como o principal centro de inovação internacional, com a Inteligência Artificial como foco, até 2030. Os objetivos são: estabelecer infraestrutura universitária e currículos capazes de se adaptar a IA até 2020; destacar a pesquisa e desenvolvimento e força de trabalho com habilidades específicas em IA até 2025; tornar as universidades chinesas em líderes na inovação em IA até 2030. Para isso precisa treinar uma nova geração de especialistas em IA, pois esta disciplina é classificada como básica e transversal a outras disciplinas da Ciência da Computação e Estatística. Também foi identificada a necessidade de se combinar a IA com as disciplinas de matemática, física, biologia, psicologia, sociologia e direito. No âmbito da gestão de cursos, os 3 principais grupos chineses de educação privados estão aplicando a IA em reconhecimento de face, *Big Data*, satisfação do aluno, sistemas de gestão inteligentes para educação etc (KNOX, 2020).

Diante desse cenário, a preocupação com a disparidade entre instituições de ensino é verdadeira. Há uma tendência onde somente algumas universidades sobreviverão, por meio do investimento em adoção da IA aliada às tecnologias educacionais. Enquanto o poder de investimento é forte em grupos educacionais, as grandes universidades, mas que operam sozinhas, tendem a desaparecer por perda de relevância e inércia para planos de transformação. Uma universidade que opera sozinha não pode mais contar apenas com a sua abrangência local. É preciso expandir os negócios educacionais rapidamente e globalmente, com a adoção de tecnologias educacionais e IA. Estudantes passaram a ser globais, estão espalhados por todo o mundo. Eles procuram por formação relevante para as suas necessidades pessoais e profissionais, que uma universidade local talvez não ofereça. Sendo assim, a *Smart Education* pode colaborar para que uma instituição de ensino se destaque pelos produtos educacionais que oferece.

### **2.1.3 *Smart Education***

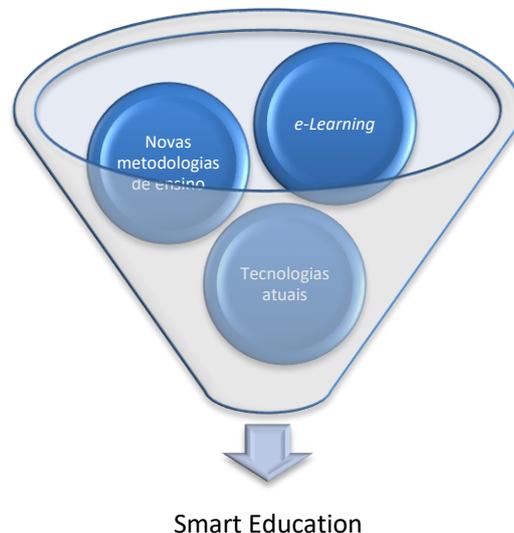
O termo *Smart Education* se destacou em 3º lugar como um dos termos mais presentes nas palavras-chave da Revisão Sistemática de Literatura (Tabela 1). Portanto, é necessário definir a *Smart Education* diante do ponto de vista das várias publicações encontradas.

Uma definição para a *Smart Education* pode ser dada como a união da tecnologia educacional (*e-Learning*) com as tecnologias atuais e novas metodologias de ensino (Figura 8), com objetivos pela formação por competências multidisciplinares, de criatividade e de comunicação para a solução de problemas complexos de engenharia, mas considerando sustentabilidade. Assim, atende-se aos requisitos da Indústria 4.0.

Muitos autores apontam a transição da *e-Learning* para a *Smart Education* como forma de se atender a formação por competências necessárias para a Transformação Digital (DNEPROVSKAYA; KOMLEVA; URINTSOV, 2019; GLUKHOV; VASETSKAYA, 2017; MAKAROVA; SHUBENKOVA; ANTOV, 2019; MAKAROVA; SHUBENKOVA; PASHKEVICH, 2018; SEMENOVA et al., 2017). Para tanto, a mão-de-obra deve ser treinada para a *Smart Society*, que requer competências digitais para tratar diversos tipos de dados da economia, produção de produtos com alta tecnologia, bem como serviços inovadores. Conseqüentemente, a *Smart Education* é aquela que está conectada com a adoção de novas metodologias de ensino e tecnologias educacionais. Ou seja, é a “Universidade 4.0” alinhada aos objetivos da Indústria 4.0. De maneira resumida, a *Smart Education* adota a Inteligência Artificial na universidade, possui livros com realidade aumentada, laboratórios virtuais e trilhas para robótica. Além disso, é considerada como educação de baixo custo, pois acaba reduzindo a infraestrutura universitária, apesar da adoção de tecnologias. Também oferece a micro aprendizagem ( *$\mu$ -Learning*), por meio de vídeos curtos para aplicação do conhecimento de forma imediata.

A *Smart Education* é inclusiva, pois atinge estudantes distantes em geral, pessoas com restrição de descolamento e outras isoladas por alguma razão (soldados, enfermos, presidiários

Figura 8. Definição para *Smart Education*.



etc.) Por fim, a *Smart Education* é ubíqua, está presente em quaisquer locais com conectividade. Contudo, como apontado nas forças e ameaças das Tecnologias Educacionais, apenas os estudantes distantes com acesso à tecnologia que serão incluídos no cenário da *Smart Education*. Os que não tem condições de acesso à tecnologia, mesmo locais, ficam excluídos.

Para que tudo o que foi exposto como positivo no parágrafo anterior aconteça, as instituições de ensino precisam seguir os princípios da *Smart University* (MARUTSCHKE et al., 2019; USKOV et al., 2016, 2017a):

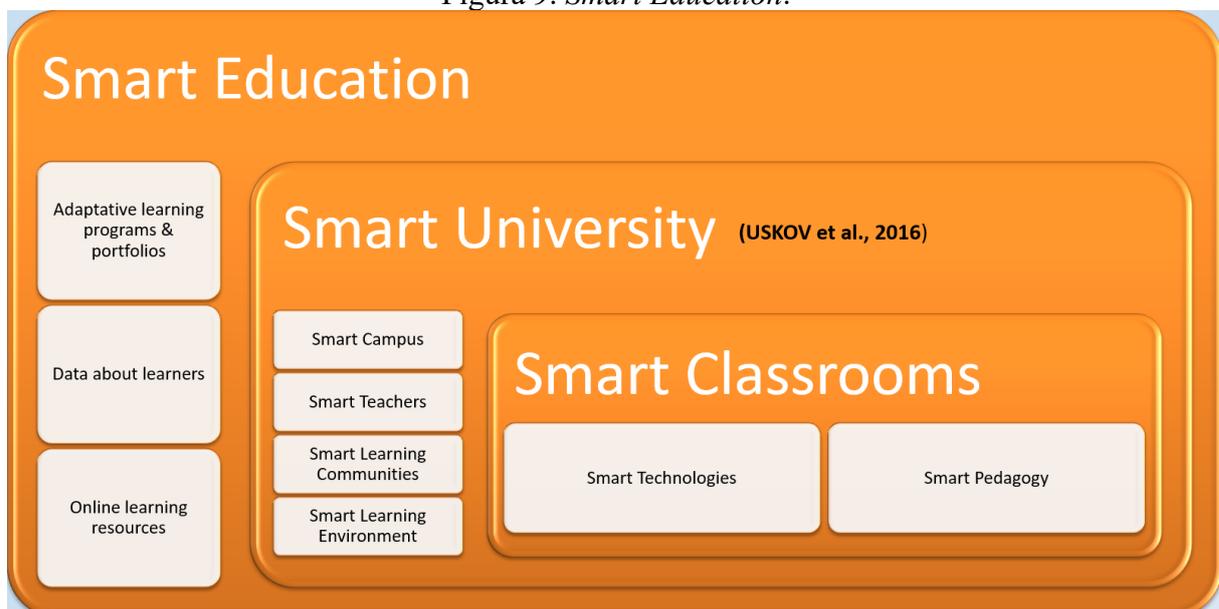
- i. **Adaptação:** é a habilidade da universidade alterar automaticamente suas funções de negócio, estratégias de ensino, comportamento de gestão, segurança e estrutura física para melhor operar e realizar suas principais funções de negócio (educação, por exemplo);
- ii. **Percepção:** é a habilidade da universidade usar sensores para identificar, reconhecer, entender e se preocupar com vários eventos, processos, objetos e fenômenos que podem impactar positivamente ou negativamente as operações, infraestrutura ou bem-estar dos envolvidos, como estudantes, professores, funcionários, recursos, ativos, entre outros;
- iii. **Inferência:** é a habilidade de fazer automaticamente conclusões lógicas com base em dados brutos, informação processada, observações, evidências, premissas, regras e raciocínio lógico;
- iv. **Autoaprendizagem:** é a habilidade de obter, adquirir ou formular novo conhecimento ou modificar o existente, bem como experiências ou comportamento para melhorar a operação, funções de negócio, desempenho e eficiência da universidade;
- v. **Antecipação:** é a habilidade de pensar ou raciocinar automaticamente para prever o que irá acontecer, como tratar o evento futuro ou determinar o próximo passo;
- vi. **Auto-organização:** é a habilidade de mudar automaticamente a sua estrutura interna, se auto apreciar e autossustentar com propósito sobre condições apropriadas, mas sem interferência externa de entidades ou agências.

Diante do exposto acima, fica a pergunta: a estrutura organizacional das universidades brasileiras permite a aplicação dos seis princípios da *Smart University*? A resposta mais plausível seria não, devido a regulação educacional atual e estrutura departamental não flexível das universidades.

Outra visão da *Smart Education* está na Figura 9. Os autores colocam que a *Smart Education* é composta por programas e portfólios adaptativos de aprendizagem, dados sobre os estudantes e recursos de aprendizagem online. Isso corrobora com a necessidade de constante atualização dos cursos, uma vez que a Indústria 4.0 evolui a passos largos, impondo atualização do conhecimento a todo momento. Assim, cumpre-se com o princípio da **adaptação**. Os dados sobre os estudantes são necessários para que a universidade possa **perceber** o rendimento e necessidades de cada um, para então **inferir**. Enfim, recursos online devem estar sempre disponíveis, considerando que isso já era uma característica presente no *e-Learning*.

Ainda na Figura 9, percebe-se que a *Smart University* está dentro da *Smart Education*. Ou seja, para que se tenha uma educação inteligente, é preciso ter uma universidade inteligente composta por um campus inteligente, professores “inteligentes”, comunidades de aprendizagem inteligentes e ambientes de aprendizagem flexíveis e inteligentes. O *smart campus* contém os sensores inteligentes ou a tecnologia de Internet das Coisas. Isso é preciso para poder entender como os usuários se comportam e usam os recursos no campus. Já o professor “inteligente” é aquele que se adapta e usa as novas metodologias de ensino aliadas às tecnologias educacionais. Por sua vez, as comunidades de aprendizagem inteligentes podem ser consideradas como Comunidades de Práticas (CoP) inteligentes que usam das tecnologias para o compartilhamento das melhores práticas educacionais de forma ubíqua, a qualquer tempo e qualquer lugar. Por fim, um ambiente de aprendizagem inteligente é aquele que usa a tecnologia educacional para orientar os estudantes, dar feedback apropriado e fornecer dicas e ferramentas adequadas para cada situação.

Figura 9. *Smart Education*.



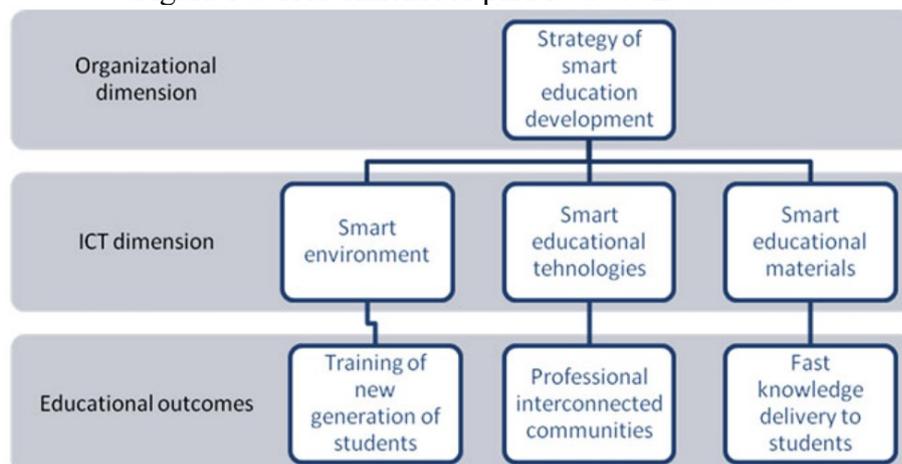
Fonte: Adaptado de USKOV et al. (2016).

A Figura 9 ainda mostra a presença da *Smart Classroom*. Esta sala de aula inteligente adota tecnologias inteligentes e leiautes flexíveis para se adequar às atividades de ensino ou situações-problema do mundo real. Contudo, para que o uso do ambiente aconteça de forma apropriada, o professor precisa aplicar uma pedagogia inteligente. Resumindo, é a união da adição de tecnologias ubíquas na sala de aula, com as tecnologias educacionais e as novas metodologias de aprendizagem. A onipresença de sensores na aula de aula vai além da medição do conforto térmico. Respeitando a privacidade, câmeras inteligentes serão necessárias para medir o nível de atenção do estudante, por meio do processamento digital de imagens e computação cognitiva. Sensores para medir o nível de gases, como dióxido de carbono e oxigênio, e luminosidade podem ser aliados às câmeras como fonte de dados para algoritmos de aprendizado de máquina, com o objetivo de entender e adaptar o ambiente de aula para as melhores condições, visando melhor desempenho dos estudantes. Contudo, a sala de aula também precisa ser flexível, se adaptar ao contexto de cada aula, com possibilidade de rearranjo de leiautes, conforme a metodologia ativa de aprendizagem que o professor irá aplicar.

Contudo, para que a *Smart Education* seja aplicável, modelos foram propostos. Dentre eles há um que considera três dimensões para a Educação Inteligente (TIKHOMIROV; DNEPROVSKAYA; YANKOVSKAYA, 2015): a organizacional, a de tecnologias de informação e comunicação (TICs), e a de resultados educacionais (Figura 10).

Os autores colocam que na dimensão Organizacional há a Gestão do Conhecimento, devido a necessidade de se traçar estratégias para o desenvolvimento da *Smart Education*. Na dimensão das TICs, há gestão de tecnologias para ambientes, tecnologias e materiais educacionais inteligentes. Conectando as dimensões de TICs e resultados educacionais, pode-se dizer que o ambiente inteligente é o suporte para o treinamento de nova geração de

Figura 10. Três dimensões para a *Smart Education*.



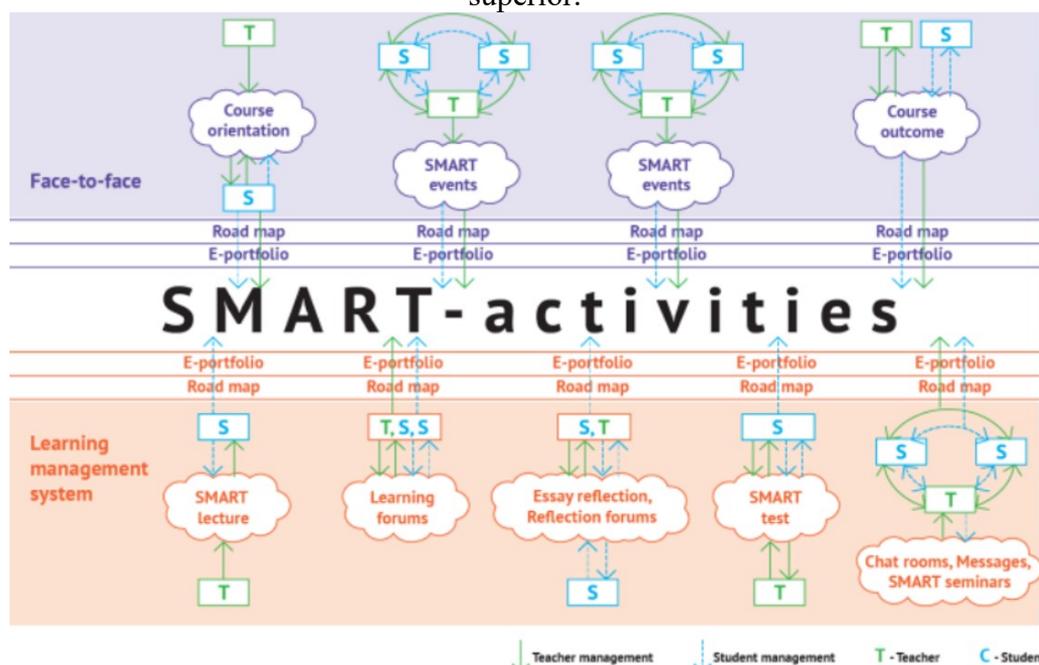
Fonte: TIKHOMIROV; DNEPROVSKAYA; YANKOVSKAYA (2015).

estudantes. Por sua vez, as tecnologias educacionais inteligentes favorecem a criação de comunidades profissionais interconectadas. E por último, materiais educacionais inteligentes entregam conhecimento rápido para os estudantes. Isso é necessário para a personalização do ensino, onde cada estudante tem os seus objetivos profissionais e outros desejos.

O ensino personalizado também é citado em um *framework* para atividades inteligentes (MERZON; IBATULLIN, 2017) e em outro para um Sistemas de Aprendizagem Híbrido Inteligente (HARTONO et al., 2018), no contexto da *Smart Education*.

No primeiro *framework* (Figura 11), os autores apresentam uma arquitetura de *Smart Learning* para cursos superiores, que troca o estilo tradicional de aulas, do discurso do professor, para uma estrutura híbrida, onde o estudante deve interagir de forma online e se preparar para os momentos presenciais. O modelo faz uso intensivo do Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), onde as aulas passam a ser "smart", bem como os fóruns de aprendizagem, fóruns para autorreflexão, testes, chats e outros recursos. Para os momentos presenciais, há orientação das atividades, considerando que a forma de desenvolvimento de cada estudante é independente. A proposta depende de recursos de avaliação constante, como e-portfolio e *road map* para cada estudante, com o objetivo de tomada de decisão ao longo da disciplina. Uma vantagem do *framework* é a possibilidade de ensino simultâneo, onde uma aula presencial pode ser ao mesmo tempo transmitida para estudantes que optam por ficar distantes. Muito se viu disso em universidades que adotaram o modelo para continuidade das aulas

Figura 11. Framework para arquitetura de cursos de aprendizagem inteligentes para ensino superior.

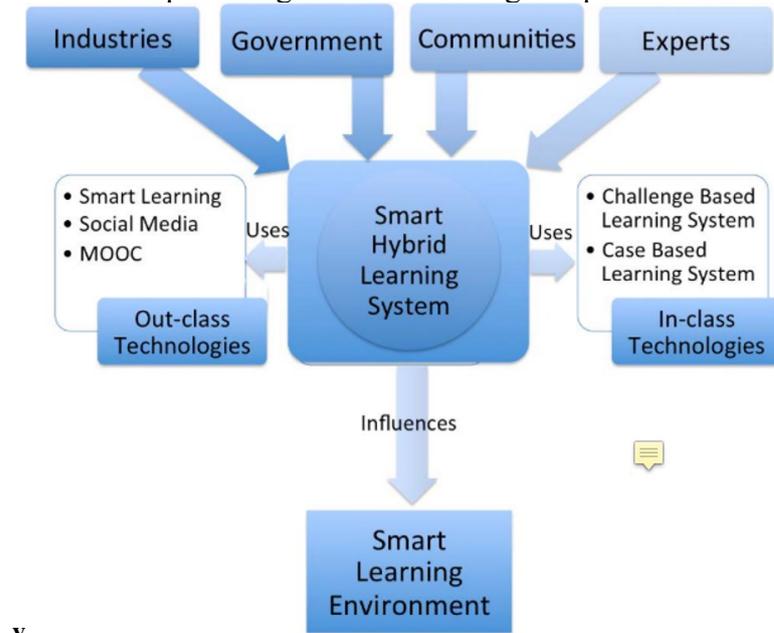


Fonte: MERZON; IBATULLIN (2017).

durante a pandemia do COVID-19 em 2021, quando as universidades foram permitidas a abrirem as portas novamente, mas com restrição de ocupação dos espaços de aprendizagem.

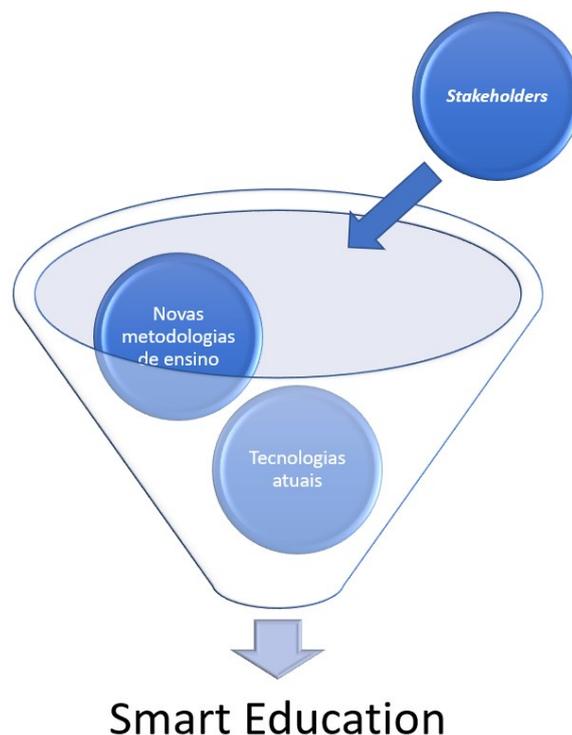
No caso do segundo framework (Figura 12), os autores consideraram as necessidades da Indústria, do Governo, da Sociedade e conselhos de especialistas sobre o uso do sistema que acaba influenciando o Ambiente de Aprendizagem Inteligente para a Educação 4.0, que precisa

Figura 12. Framework da aprendizagem híbrida inteligente para alavancar a Educação 4.0.



Fonte: HARTONO et al. (2018).

Figura 13. Considerações dos stakeholders para a *Smart Education*.



Fonte: Adaptado de BORG; SCOTT-YOUNG; TURNER (2019).

de comprometimento com a tecnologia (Figura 13). Para os momentos online, a proposta de sistema usa a aprendizagem inteligente, mídias sociais e MOOCs como recursos. O método de aprendizagem híbrida e inteligente proposto no artigo é a evolução do "sala de aula invertida" combinada com a Aprendizagem Baseada em Desafios e em Casos. Os estudantes irão aprender dentro e fora da sala de aula. O professor é um facilitador, já que o processo de aprendizagem é centrado no aluno. Fora da sala de aula, a tecnologia da *Smart Learning* deve dar acesso aos professores e estudantes, mas também para a indústria, especialistas e a Comunidade. Assim, há discussão entre as partes envolvidas para a solução dos problemas e o estudante ganha experiência fora da sala de aula.

Na sala de aula, o estudante assimila pela aprendizagem baseada em desafios (ou em casos), junto ao seu grupo de trabalho. O tempo da aula precisa ser usado para discutir as ideias de soluções para os desafios. Posteriormente, um protótipo é desenvolvido usando a melhor solução. Enfim, o dispositivo é testado por vários usuários envolvidos com o desafio. Assim, o estudante pratica com problemas do mundo real e melhora a qualidade da sua aprendizagem.

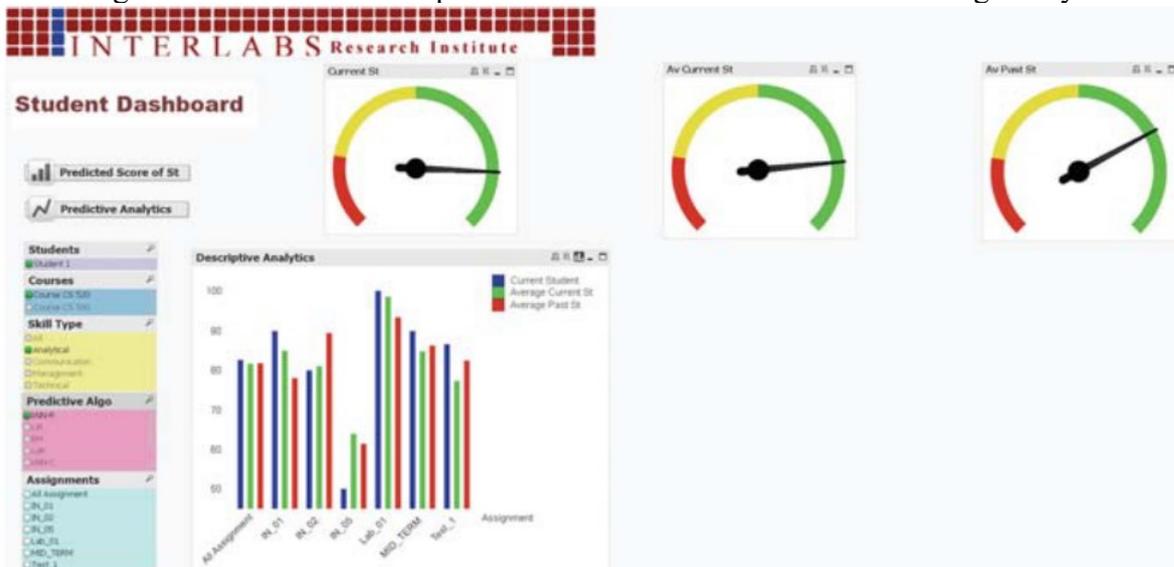
Um sistema de aprendizagem híbrida e inteligente, no contexto da *Smart Education*, conecta os professores, estudantes, especialistas, Indústria, Comunidade e Governo. A avaliação dos estudantes é uma combinação dos conceitos atribuídos por todos os *stakeholders* envolvidos e o professor. Percebe-se aqui que as avaliações são instrumentos diversos além de provas, trabalhos e atividades práticas. Em geral, estes instrumentos são padronizados, sofrendo pequenas alterações de valores e parâmetros para evitar fraude acadêmica. Contudo, a conexão do ambiente de aprendizagem com o mundo real exige momentos intermediários de avaliações e a entrega do projeto. Há vários instrumentos modernos para avaliação, como as rubricas. Portanto, há uma explosão do número de avaliações, colocando certa pressão no professor. Ao mesmo tempo, o novo sistema de avaliação possui mais dados que podem ser usados para o rastreamento de informações a respeito do rendimento acadêmico de cada estudante. Então, se faz necessário a análise de aprendizagem (*Learning Analytics*).

Um sistema de análise de aprendizagem inteligente (*Smart Learning Analytics*) tem o objetivo de oferecer feedback automatizado aos estudantes e auxílio ao corpo de professores (USKOV et al., 2017b, 2019). O sistema sugere ao estudante o que ele deve fazer para obter aprovação. Para tanto, o estudante tem acesso a um painel onde pode visualizar o seu desempenho individual e pode contar com as dicas prévias para buscar melhor desempenho acadêmico (Figura 14).

Por outro lado, os professores podem visualizar o desempenho de suas turmas e estudantes em painel próprio (Figura 15). Assim, professores podem traçar uma estratégia para corrigir eventuais falhas de aprendizagem para toda uma turma ou tentar orientar estudantes de forma personalizada, ou seja, no ritmo de cada estudante. A ferramenta de análise permite que os seis princípios da *Smart Learning* sejam colocados em prática, se adaptando, percebendo, inferindo, antecipando, auto aprendendo e auto-organizando.

Mas não é somente para professores e estudantes que o sistema está disponível. Ele também auxilia a gestão de cursos e da universidade. Com um *Smart Learning Analytics*, a gestão universitária pode, além de medir o nível de desempenho dos estudantes, fazer tomada

Figura 14. Painel de desempenho do estudante em um *Smart Learning Analytics*.



Fonte: USKOV et al. (2019)

Figura 15. Painel de análise do professor em um *Smart Learning Analytics*.



Fonte: USKOV et al. (2019).

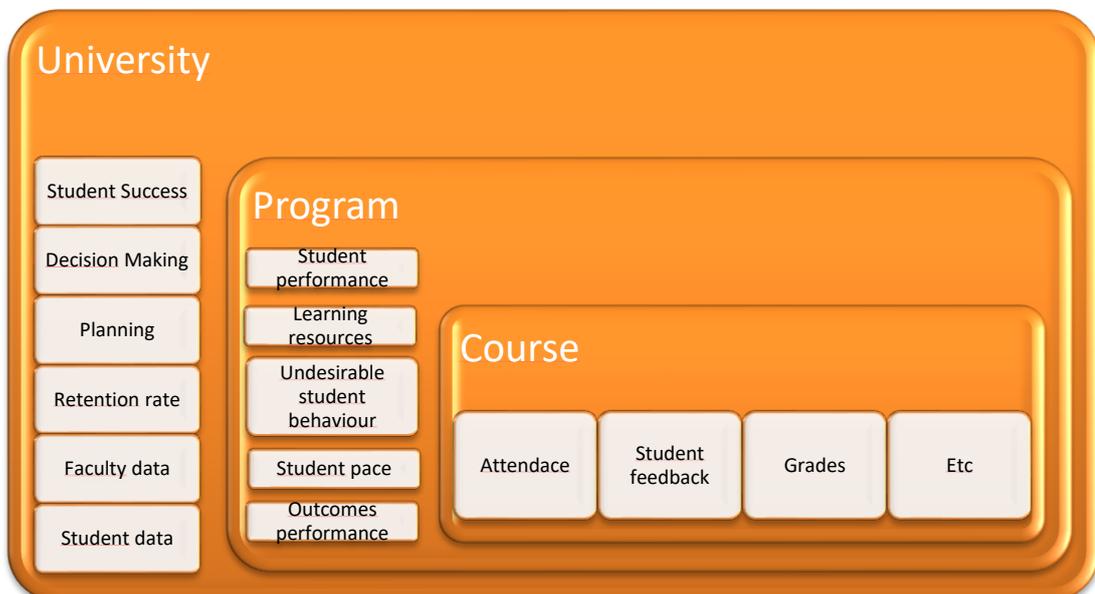
de decisão, planejar e analisar taxa de retenção (Figura 16). Aliado a isso, o sistema contém os dados os estudantes e professores para a inferência. Na dimensão de gestão do curso, o coordenador pode obter informação sobre o desempenho, comportamento indesejável e o ritmo de cada estudante, bem como os seus dados. Assim, o gestor pode comparar o desempenho do curso em relação aos resultados de aprendizagem. O coordenador também pode saber quais são os recursos de aprendizagem que estão disponíveis. No contexto de uma disciplina, tanto coordenadores como professores podem obter dados sobre taxa de comparecimento e notas, aliados aos feedbacks de avaliação institucional do estudante.

Estando a *Smart Education* amplamente definida, é hora de mostrar a análise SWOT do termo (Figura 17). Os itens a seguir falam sobre as forças e oportunidades da *Smart Education*. As fraquezas e ameaças também são apontadas.

### 2.1.3.1 Forças presentes na Smart Education

“A principal responsabilidade da *Smart Education* é melhorar a qualidade do aprendizado para a vida (*lifelong learning*)” (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017). A ideia é que a aprendizagem aconteça de forma significativa e que os estudantes consigam desenvolver competências para toda a vida profissional. No caso de situações em que o conhecimento ainda não está disponível, o estudante pode buscá-lo de forma autônoma, com o uso de tecnologias educacionais presentes na *Smart Education*.

Figura 16. Arquitetura de um sistema de *Smart Learning Analytics* para uma *Smart University*.



As tecnologias **diminuem o gap de comunicação** entre professores e estudantes. Elas também permitem um trabalho colaborativo maior, seja presencialmente, no ensino à distância ou no modelo híbrido. Isso facilita a habilidade de resolver problemas em ambientes inteligentes. A questão é que os estudantes podem trabalhar em suas casas ou de quaisquer locais com conectividade. Isso salva tempo e faz com que os estudantes desenvolvam habilidades de organização. Para os professores, essas vantagens também se aplicam, já que podem **lecionar à distância**. Portanto, a *Smart Education* é **ubíqua** (GLUKHOV; VASETSKAYA, 2017), ela está presente em qualquer lugar a todo o tempo, por meio das tecnologias educacionais e adoção de inovadoras metodologias baseadas em aprendizagem ativa, desde que haja conectividade. A educação inteligente também é **internacional**. Os estudantes internacionais não precisam mais se deslocar entre uma universidade e outra (MARUTSCHKE et al., 2019). Obviamente, a experiência internacional seria completa com a vivência presencial, no entanto, a interação por meio de tecnologias é mais ágil e inclusiva, pois aproxima pessoas que não teriam condições de bancar um intercâmbio. Mas ainda assim, somente àqueles com acesso à tecnologia.

Outra característica importante na *Smart Education* é a presença dos repositórios de conhecimento, que podem ser implementados com o uso de *smart technologies* (GLUKHOV; VASETSKAYA, 2017). O professor não teria que criar material do zero, apenas atualizar o material existente. Um **Sistema de Gestão do Conhecimento** (KMS – *Knowledge Management System*) de uma universidade permite o acesso do conteúdo acadêmico ativo e

Figura 17. Matriz SWOT para a *Smart Learning*.



Fonte: O autor.

atualização dele a todo momento e em qualquer lugar. É uma excelente ferramenta para pesquisar, usar, atualizar e criar conhecimento relacionado ao ensino (DNEPROVSKAYA; SHEVTSOVA, 2018).

Além disso, um modelo de competências pode ser apresentado pelo empregador. Assim, o professor tem considerações iniciais para elaborar uma aula personalizada às necessidades do mercado de trabalho. O conhecimento disponível no KMS também pode ser organizado de forma personalizada para cada estudante, caracterizando a personalização do ensino, uma característica presente na *Smart Education*. A personalização da educação ocorre inerentemente nesse processo, colocando o estudante como dono do seu processo de aprendizagem.

Apesar da *Smart Education* colocar o estudante no centro, como principal ator da aprendizagem, o ponto chave da educação ainda é o professor (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017). O professor passa a ser o orquestrador da aprendizagem, conduzindo o estudante na escolha das melhores ferramentas para a solução de problemas.

No entanto, a competência dos estudantes deve ser medida antes e depois de um conhecimento ter sido estudado. Isso ajuda na validação de um sistema de qualidade. O processo também deve ser acreditado externamente, por meio de instituições acreditadoras, para reforçar a confiabilidade da instituição e de seus cursos (GLUKHOV; VASETSKAYA, 2017).

#### 2.1.3.2 Oportunidades presentes na *Smart Education*

Muitas oportunidades estão relacionadas a adoção de tecnologias educacionais modernas para tornar a educação e seus espaços em ativos inteligentes.

As *Smart Classrooms* são oportunidades que as universidades e seus cursos de engenharia devem considerar, pois envolvem tecnologia, ambiente e processos para a melhoria da qualidade do aprendizado (CEBRIÁN; PALAU; MOGAS, 2020). A tecnologia dispõe de diversas opções no mercado, para tornar uma sala conectada e ubíqua, que pode ser adicionada com o tempo, dependendo do contexto e dos recursos disponíveis. No ambiente, a iluminação, a climatização, a qualidade do ar, a cor do ambiente e outras variáveis são consideradas como fatores que influenciam no aprendizado. Já os processos são aqueles que devem facilitar a aprendizagem. Eles envolvem o conteúdo e a forma como os atores devem se comportar, ou

seja, como as metodologias baseadas em aprendizagem ativa podem ser aplicadas e como são usadas.

No contexto das *Smart Classrooms*, sensores e a Inteligência Artificial poderão ser usados para medir os processos cognitivos e comportamentais dos estudantes. Isso poderá ajudar o professor a **adaptar as aulas** para se chegar mais fácil aos resultados de aprendizagem. O ambiente também poderá se autorregular conforme o estilo de aula e as entradas fornecidas pelos sensores inteligentes.

A adoção de tecnologias significa ter disponibilidade de recursos. Entretanto, a *Smart Education* acaba tendo baixo custo, pois os estudantes podem acessar o conhecimento de qualquer dispositivo conectado. Isso traz redução de infraestrutura da universidade (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017).

Outras oportunidades se relacionam a qualidade do ensino que pode ser melhorado. A tecnologia presente na *Smart Education* permite imitar a vida real, por exemplo, usando a Simulação e Realidade Virtual e Aumentada. A transmissão do conhecimento se torna facilitada. Os estudantes desenvolvem a criatividade, com qualidade de trabalho superior (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017). Consequentemente, o **nível de satisfação** dos estudantes com o processo educacional é superior (BAE; WOO, 2019).

As tecnologias para a *Smart University*, considerando a sua infraestrutura, permitem que, além da formação formal, a **informal** também aconteça. Estudos dizem que 70% da estrutura no processo educacional é usada para a aprendizagem informal (MORZE; GLAZUNOVA, 2013). Com isso, pode-se agregar valor ao aprendizado, também aumentando o nível de satisfação dos estudantes.

Algo que a Indústria 4.0 clama é a agilidade no processo educacional, para que o mercado disponha de mão-de-obra formada e qualificada em curto espaço de tempo (ASSANTE et al., 2019). E considerando que o conhecimento adquirido pode ficar obsoleto em 3 a 5 anos (KRIVOVA et al., 2017), a educação moderna deve desenvolver habilidades de autoaprendizagem e disponibilizar motivação para o *lifelong learning*. A *Smart Education* pode colaborar com o processo de aprendizado para toda a vida, abrindo possibilidades para o *e-Learning* e o *Blended Learning (b-Learning)*. Uma das possibilidades é a criação de programas curtos de aprendizagem. A ideia seria a oferta de unidades de aprendizagem individuais ou em blocos, que quando combinados geram valor para o estudante e para o empregador. A proposta pretende ter valor de formação, com cessão de créditos e possibilidade de acreditação. Um exemplo interessante é a iniciativa de cinco países europeus (Alemanha, Espanha, Itália,

Bulgária e Eslovênia), com uma proposta de currículo comum e complementar. Além disso, propõe a emissão de um “*e-Card*” para entrar rapidamente no mercado de trabalho da União Europeia. O programa chama-se MeMeVET (*Mechatronics and Metallurgical VET*).

Outra oportunidade é a adoção da micro aprendizagem ( *$\mu$ -Learning*). Neste método instrucional, o objetivo é obter a máxima retenção do conhecimento, com a sua disseminação através de vídeos curtos (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017). Por exemplo, vídeos curtos de 60 a 90 segundos, com atividade de aplicação já em seguida aos vídeos. Algumas empresas têm adotado essa abordagem para obter resultados imediatos com o investimento em educação focada. Mas por que não adotar esse modelo na universidade e na Educação em Engenharia? A oportunidade se dá desde que a universidade reassuma o seu papel de educação e desonere a Indústria de atividades de formação, deixando que esta foque em suas atividades essenciais.

### 2.1.3.3 Fraquezas encontradas na Smart Education

No item anterior, muito se falou sobre a adoção de tecnologias, mas para que seja possível alavancar a *Smart Education*, a **infraestrutura de TI** das universidades precisa de melhorias (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017). Se para a *e-Learning* a infraestrutura para TICs já deveria ser de alta qualidade para disponibilizar conteúdo via Internet, para a *Smart Learning* ela deve ser melhor ainda. Os vídeos na educação à distância podem ser baixados em computadores pessoais para então serem assistidos, caracterizando uma aprendizagem assíncrona. Por outro lado, na *Smart Education* há a possibilidade do ensino simultâneo (ou flexível), onde uma aula presencial pode ser ao mesmo tempo transmitida. Para tanto, há necessidade de redes de alta velocidade. Considerando toda uma universidade operando nessa abordagem, a rede de comunicação deverá ter banda disponível e redundância no caso de falhas, evitando frustração de estudantes conectados. Não bastasse isso, se a opção dos estudantes for por assistir as aulas gravadas, serviços em nuvem ou disponibilidade servidores para repositórios de vídeos são necessários. Isso demanda investimento, gestão e manutenção ao longo de todo o ciclo de vida da rede computacional (WOOD, 2017). Mas com recursos limitados, tanto em universidades públicas como privadas, a infraestrutura de TI é apontada como uma fraqueza para adoção da *Smart Education*.

Outro estudo aponta três problemas que precisam de atenção na *Smart Education* (GLUKHOV; VASETSKAYA, 2017). Primeiro, ela ainda carece de ferramentas de avaliação

da qualidade do conteúdo educacional. Por exemplo, faltam processos para a avaliação de materiais produzidos por professores e das tecnologias adotadas para a condução de módulos de aprendizagem. Segundo os autores, novas formas de proteção de direitos autorais são necessárias. Aulas flexíveis e com uso de metodologias baseadas em aprendizagem ativa não são lineares como o conteúdo transmitido no ensino à distância tradicional. Contudo, as aulas são transmitidas e gravadas. Por último, mas não menos importante, há preocupação com a aplicação de avaliações, pois a interação entre aluno e professor é diferente. Provas certificadoras online possuem processos bem consolidados para validação do ambiente de aplicação. Mas como certificar uma avaliação que pode ser conduzida em um ambiente flexível de aprendizagem?

Na dimensão dos estudantes, ainda é evidente que eles são **dependentes da presença do professor** em boa parte do processo de aprendizagem (SEMENOVA et al., 2017). Ou seja, se por um lado o papel do professor ainda é importante, a cultura de que o professor é o principal ator para o processo de aprendizagem permanece, deixando o estudante agir passivamente. A maioria dos aprendizes pensa que organizar os estudos por conta própria levará mais tempo do que com um especialista (professor). Quase 100% concordam que a personalidade do aluno é influenciada pelo professor (SEMENOVA et al., 2017).

Para o contexto da Indústria 4.0, há uma crítica que na Europa, os fornecedores de educação e treinamento não estão preparados para enfrentar de imediato os novos desafios educacionais (ASSANTE et al., 2019). Os autores apontam que algumas iniciativas, para preparar os profissionais de acordo com os requisitos do mercado, vêm da parceria entre instituições de ensino e empresas. Mercado este que as universidades deveriam responder com a proposta de novos cursos de bacharelado e mestrados para a Indústria 4.0.

Uma fraqueza apontada está característica "cyber" das universidades. Algumas limitações existem quanto aos métodos de **disponibilidade unilateral do conhecimento**, com a exclusão de educação experimental e de práticas. Isso foi verificado pela pesquisa dos níveis de satisfação em cursos na Coreia (BAE; WOO, 2019). Os menores níveis de satisfação estão relacionados a falta de interação entre estudantes e professores e a falta de encorajamento para os estudos. Portanto, as universidades com as mesmas características precisam melhorar a forma de disseminação do conhecimento e a interação dos *stakeholders* no processo educacional.

Por fim, um problema presente na *Smart Education* é que não basta ter o conhecimento. É necessário atualizá-lo constantemente, devido a frequente atualização de

informações e o crescimento colossal delas, de forma a atender as competências exigidas na economia digital (DNEPROVSKAYA; SHEVTSOVA, 2018).

#### 2.1.3.4 Ameaças encontradas na *Smart Education*

A *Smart Education* enfrenta algumas **ideologias**, a liderança de professores, a liderança de tecnologia educacional e as estruturas educacionais (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017). As ideologias são sustentadas por *stakeholders* que não acreditam em processos de educação inovadores. Há lideranças que ainda acreditam no ensino tradicional como sendo a melhor forma de ensinar. Muitas delas são formadas por professores que não pretendem adotar as novas tecnologias educacionais e metodologias de ensino. Uma justificativa seria o tempo dispendido em se atualizar em formas de ensinar, do que se aprofundar no conteúdo acadêmico a ser disseminado.

A liderança que move as tecnologias educacionais se preocupa com produtos já consolidados no mercado, mas que não se enquadram no conceito da *Smart Education*. Assim como o processo educacional necessita de atualização constante para atender aos requisitos da Indústria 4.0, as tecnologias educacionais também precisam. Portanto, há necessidade de investimento.

O investimento também é preciso para a adaptação dos espaços de aprendizagem. Contudo, há liderança que cria barreiras, justificando a falta de recursos. Mas, é preciso se atentar aos movimentos em torno da *Smart Education* para a Educação em Engenharia. Uma escola de engenharia pode deixar de ser referência para estudantes que buscam por formação ou atualização profissional, caso fique desalinhada com a Indústria 4.0 e as tendências da área educacional.

"A sociedade SMART coloca uma nova tarefa global para as universidades: ter profissionais com potencial criativo, habilitados a pensar e trabalhar em um novo mundo" (MAKAROVA; SHUBENKOVA; ANTOV, 2019). O engenheiro deve ser "multivariado", mas há um conflito entre a educação e os objetivos das empresas. A transição para a I4.0 requer engenheiros com novas competências sobre as novas tecnologias, habilidades práticas e de comunicação. Isto requer mudanças no processo educacional para formação em engenharia. O mercado de trabalho requer profissionais inovadores na área de robótica, programação, infraestrutura de TI e Inteligência Artificial, o que implica em alterações no treinamento de pessoal. O sistema educacional precisa mudar o seu paradigma, sair da **inércia** e passar por uma

transformação profunda para atender as necessidades da economia. É preciso ter cooperação entre as empresas e as universidades. "Universidades geram conhecimento para as empresas do entorno e servem como pontos de encontro para centros educacionais e científicos, estudantes e o mundo dos negócios" (MAKAROVA; SHUBENKOVA; ANTOV, 2019)

Outro problema é a diminuição da motivação de jovens para o ingresso na Educação em Engenharia. Ao mesmo tempo que a profissão de engenheiro é dita como nobre por usar e criar tecnologias de ponta, também é considerada como difícil, portanto, atraindo menos jovens. Para este caso, a aplicação da metodologia STEM no ensino fundamental e médio poderia despertar o interesse pela engenharia em crianças e jovens. E poderia criar a cultura de que os novos engenheiros precisam ser dinâmicos, capazes de lidar com as mudanças e com problemas complexos usando ferramentas inovadoras e flexíveis. É uma ideia para a sustentabilidade da Educação em Engenharia.

A *Smart Education* é prejudicial quando a tecnologia incentiva o **plágio** e a **desonestidade acadêmica**. Além disso, há uma preocupação quando a tecnologia oferece atrativos concorrentes ao ensino. Ao mesmo tempo que a conectividade permite o uso de tecnologias educacionais modernas, os estudantes têm acesso fácil a redes sociais, que se não usadas para o ensino. Essa concorrência se torna distratora e prejudica o desempenho acadêmico (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017).

Quando se une estudantes e tecnologias de conectividade, surgem preocupações com a privacidade de dados. Apesar do estudante ser constantemente ensinado a se comportar no ambiente online, sempre haverá o risco de dados vazarem de maneira inadvertida ou por vontade própria (MOHAMED; AL BARGHUTHI; SAID, 2017).

Enfim, também há preocupação com a saúde. A *Smart Education*, por meio de tecnologias educacionais pode prejudicar os olhos, músculos e outros sistemas do corpo humano. Ficar sentado à frente de um computador tende a deixar o estudante fixado em uma tela prejudicial aos olhos. O aluno também se movimenta menos, afetando músculos dos membros e coluna. Pode ocorrer estresse e fadiga pelo uso excessivo de tecnologias para a aprendizagem, uma vez que elas também concorrem para atividades de lazer (jogos eletrônicos, redes sociais etc.)

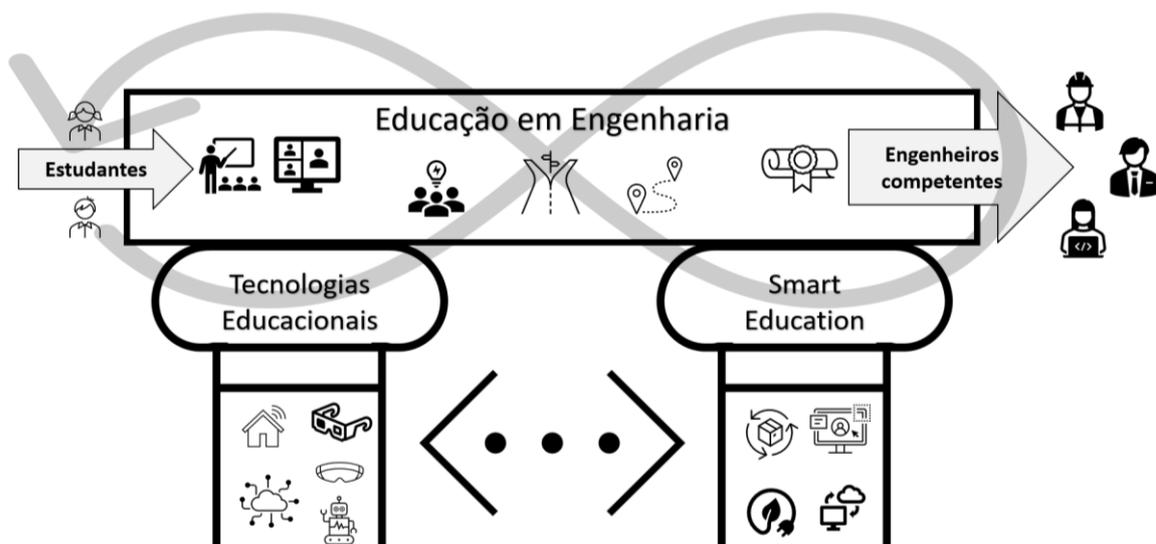
O item a seguir trata das conclusões sobre o corpo da literatura.

### 2.1.3.5 Observações e Argumentos sobre o Corpo da Literatura

Tecnologias Educacionais, Educação em Engenharia e *Smart Education* são as três palavras-chave mais utilizadas nas publicações do banco de artigos final. Foi constatado que os três termos têm estrita relação, uma vez que a Educação em Engenharia necessita estar apoiada pela *Smart Education* e pelas Tecnologias Educacionais para atender os requisitos de formação no contexto de Transformação Digital (Figura 18).

A *Smart Education* não é composta apenas de Tecnologias Educacionais modernas, ela também compreende as metodologias baseadas em aprendizagem ativa, ferramentas inteligentes para suporte acadêmico, aproximação com os *stakeholders* e outras ações para a formação de competências alinhadas à Transformação Digital. Ou seja, na *Smart Education* há transmissão e co-criação do conhecimento, com desenvolvimento de habilidades profissionais, atitudes e valores pessoais. Por sua vez, as Tecnologias Educacionais trabalham conectadas à *Smart Education*, por meio de análise de dados e inteligência artificial para a gestão do conhecimento organizacional. Elas também apoiam a Educação em Engenharia para que ocorra de forma presencial, híbrida, à distância ou simultânea. As novas Tecnologias Educacionais estão apoiadas em praticamente todos os pilares da Indústria 4.0, como IoT, Simulação, Realidade Aumentada e Mista, *Big Data* etc. Já a *Smart Education* está ancorada nas próprias Tecnologias Educacionais, mas também em ferramentas, métodos e ações para a efetiva formação de competências. Por exemplo, metodologias baseadas em aprendizagem ativa, educação para a sustentabilidade, PjBL, aproximação dos *stakeholders* (BORG; SCOTT-

Figura 18. A Educação em Engenharia suportada pelas Tecnologias Educacionais e a *Smart Education*.



Fonte: O autor.

YOUNG; TURNER, 2019) e ferramentas inteligentes para gestão acadêmica (DNEPROVSKAYA; KOMLEVA; URINTSOV, 2019; VERMA; SOOD; KALRA, 2017).

O ambiente educacional se torna ubíquo, bem como as ferramentas utilizadas pelos alunos, pois eles passam a estudar em qualquer lugar e tempo, desde que haja conectividade (VERMA; SOOD; KALRA, 2017). Isso abre campo para analisar a educação informal, aquela que ocorrem em diversas partes da universidade e fora dela, além do ambiente presencial ou virtual de aprendizagem. Portanto, repositórios de conhecimento integrados aos ambientes virtuais de aprendizagem podem colaborar para a Gestão do Conhecimento na dimensão da *Smart Education* (DNEPROVSKAYA; KOMLEVA; URINTSOV, 2019; TIKHOMIROV; DNEPROVSKAYA; YANKOVSKAYA, 2015).

Percebe-se que a *Smart Education* afeta os processos da Educação em Engenharia moderno. Ela envolve o ciclo de adaptação da universidade, dos cursos de engenharia e seus *stakeholders* ao contexto do mundo, percepção dos problemas, inferência de conclusões, autoaprendizagem, antecipação e auto-organização (MARUTSCHKE et al., 2019; USKOV et al., 2016, 2017b). Ou seja, um curso de engenharia e seus atores precisam se adaptar ao contexto do seu entorno. Eles precisam perceber os anseios da Indústria e da Sociedade e inferir conclusões sobre possíveis soluções. Também precisam se envolver no ciclo de autoaprendizagem, principalmente alunos, para se tornarem ativos e não depender apenas dos ensinamentos dos professores. Os cursos devem se antecipar às mudanças tecnológicas impostas pela Transformação Digital e se auto-organizar em uma estrutura atualizável e não presa aos muros departamentais.

A *Smart Education* contribui para o ensino personalizado, isto é, cada estudante com seus objetivos pessoais e profissionais (TIKHOMIROV; DNEPROVSKAYA; YANKOVSKAYA, 2015). Mas outro tipo de ensino personalizado deve ser levado em consideração: aquele em que o estudante escolhe as ferramentas educacionais a que melhor se adequa e no seu tempo. O aluno recebe apoio automatizado de ferramentas educacionais e mentoria de professores (USKOV et al., 2017a, 2019).

É plausível concluir que a *Smart Education* é a evolução do *e-Learning* (MAKAROVA; SHUBENKOVA; ANTOV, 2019). Esta se apoiava nas TICs para a transmissão do conteúdo no modelo tradicional de ensino, ainda com o professor como peça central do processo de ensino-aprendizagem. Por outro lado, a *Smart Education* pode ser aplicada tanto no ensino presencial, semipresencial, à distância e simultâneo. Ela incorpora Tecnologias Educacionais modernas e metodologias baseadas em aprendizagem ativa,

colocando o estudante no centro da aprendizagem, fazendo com que ele se sinta parte das soluções propostas para as necessidades da Sociedade. Para tanto, as universidades que adotam a *Smart Education* fazem parcerias estratégicas com a Indústria, escutam as partes interessadas e oferecem programas formativos atualizados às demandas da Transformação Digital. Ou seja, formam por competências, aplicando o conhecimento com habilidades, atitudes e valores. As competências no contexto da *Smart Education* devem conter habilidades de comunicação, colaboração, inovação, *lifelong learning* e gestão de projetos internacionais. Além disso, a *Smart Education* se apoia na Inteligência Artificial para o ensino e gestão das operações da universidade. Ela usa livros com realidade aumentada, trilhas de robótica, laboratórios virtuais e remotos. Devido às oportunidades que os estudantes têm de estudar onde querem e a qualquer tempo, a *Smart Education* torna a Educação em Engenharia menos custosa, pois a infraestrutura universitária é reduzida, uma vez que parte da tecnologia é transferida ao ambiente onde está o estudante, com este assumindo custos operacionais.

Portanto, a *Smart Education* pode ser considerada inclusiva e exclusiva. É inclusiva quando atinge distâncias internacionais e aprendizes que antes não tinham acesso facilitado aos recursos educacionais. Custos com deslocamentos, moradia e alimentação são reduzidos. O uso do tempo também é otimizado, já que o que seria dispendido em trânsito pode ser aplicado nos estudos ou no bem-estar. Por outro lado, também é exclusiva, pois somente estudantes e universidades com acesso às tecnologias é que serão incluídos no contexto de *Smart Education*. Há um risco de aumentar a desigualdade educacional, caso medidas não sejam tomadas para a inclusão dos sem acesso às tecnologias.

É possível inferir que a *Smart Education* é um dos pilares para que a Educação em Engenharia forme profissionais competentes para as demandas da Transformação Digital. Neste cenário, o estudante de engenharia estará inserido em um ambiente onde o conhecimento é aplicado com contexto, ou seja, em soluções para problemas reais de engenharia presentes na Sociedade e na Indústria. Nesse mesmo ambiente, o estudante desenvolverá habilidades profissionais, isto é, saberá como aplicar o conhecimento. E devido ao cenário de interação com as diversas partes envolvidas, o estudante também desenvolverá atitudes e valores pessoais.

Com essas conclusões a respeito do corpo da literatura, pode-se definir as questões de pesquisa e hipóteses.

### 3 QUESTÕES DE PESQUISA

Considerando o corpo da literatura estudado, algumas questões de pesquisa surgiram para guiar este projeto de tese:

**1) Quais são as Tecnologias Educacionais adequadas para a formação de competências e que efetivamente aliam conhecimento, habilidades, atitudes e valores?**

Os autores citados no item 2.1.1.1 *Forças presentes na Tecnologia Educacional (e-Learning)* não relacionam como as Tecnologias Educacionais promovem a formação de competências. Por outro lado, uma habilidade profissional exigida é citada, mas os autores não a relacionam com a formação por competências (SCHUSTER et al., 2015). Percebe-se que o conhecimento é transmitido por meio da colaboração, mas nada se fala das atitudes e valores pessoais. Um trabalho encontrado e que mais se aproxima da formação de competências alia a sala de aula inteligente a metodologias de ensino para o desenvolvimento sustentável (CEBRIÁN; PALAU; MOGAS, 2020). Entretanto, o que se nota análise da revisão da literatura, no item 2.1.1 Tecnologia Educacional (*Educational Technology* ou *e-Learning*), é que as Tecnologias Educacionais são postas à mesa como casos de uso. Não há modelos para a formulação de diretrizes que guiem o corpo docente para o melhor uso das Tecnologias Educacionais.

**2) Quais são as metodologias que fazem a *Smart Education* ser um dos pilares para a formação por competências?**

Várias são as metodologias de ensino aplicadas na Educação em Engenharia. A PjBL é citada em várias publicações do corpo da literatura (CARVALHO ALVES et al., 2016; CEBRIÁN; PALAU; MOGAS, 2020; DAS; KLEINKE; PISTRUI, 2020; HAERTEL; TERKOWSKY; JAHNKE, 2012; KAAR; STARY, 2019; MARUTSCHKE et al., 2019; RAMIREZ-MENDOZA et al., 2018; STEFFEN; MAY; DEUSE, 2012; TU et al., 2019). A *challenge-based learning* em outras (DIOGO et al., 2021b; HARTONO et al., 2018). Contudo, da mesma forma que as Tecnologias Educacionais, as metodologias de ensino estão na prateleira para serem testadas, mas sem orientações estratégicas dos cursos de engenharia para melhor utilizá-las.

**3) Quais são as ferramentas de gestão adequadas para a *Smart Education*?**

A *Smart Education* faz uso das Tecnologias Educacionais e das metodologias de aprendizagem inteligentes. E quem as usa são os membros do corpo docente. Contudo, todos

estão inseridos em uma estrutura organizacional que precisa de gestão. Formar competências é mais complexo do que formar por conteúdo. Portanto, a gestão acadêmica também necessita de ferramentas inteligentes que apoiem as tomadas de decisão. Dois trabalhos encontrados na RSL apontam o uso de *smart learning analytics* (USKOV et al., 2017b, 2019). Apesar das ferramentas suportarem a gestão acadêmica de forma inteligente e professores na condução eficiente e efetiva das disciplinas, elas precisam fazer parte de um plano de diretrizes para fortalecer o seu uso.

#### **4) As Tecnologias Educacionais e a *Smart Education* são os pilares para a Educação em Engenharia moderna?**

A Figura 18 sugere que sim, conforme o corpo da literatura foi estudado nesta tese. Entretanto, especialistas em Educação em Engenharia foram entrevistados e esta questão foi parte da consulta realizada. A seção 5.3 FASE 8 – AVALIAÇÃO DO ARTEFATO apresenta que a maioria dos entrevistados validou a proposição de que a Educação em Engenharia Moderna é uma ponte suportada pelas Tecnologias Educacionais e a *Smart Education*. A ponte permite que um novo estudante de engenharia a cruze para se tornar um profissional competente.

#### **5) As universidades brasileiras e os seus cursos de engenharia estão preparados para a formação por competências, aliando o conhecimento às habilidades, atitudes e valores?**

O relatório Competitividade Brasil 2021-2022 (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2022) aponta que o Brasil é o que mais gasta em educação dentre 15 países selecionados, mas o que apresenta a penúltima posição em qualidade da educação. Mesmo que o relatório mostre os resultados desde o ensino fundamental, ele aponta que todo o sistema educacional é falho. Portanto, há de se considerar que os cursos de engenharia também precisam melhorar.

No documento A Educação no Brasil: uma perspectiva internacional (OECD, 2021), aponta-se que qualificações mais elevadas colaboram para o aumento de produtividade e preparam a força de trabalho para atividades laborais que requerem cognição mais avançada. Ou seja, é necessário formar as competências. Entretanto, a forma de se avaliar a qualidade no ensino superior usa o ENADE como o principal instrumento de medição. O mesmo relatório aponta que, apesar de inovador, o ENADE tem problemas na sua concepção e implementação. Se formar competência significa que o estudante deve aplicar o conhecimento em situações-problemas reais, com habilidades profissionais, atitudes e valores pessoais, o componente de

conhecimento geral do ENADE deveria ter relação com a formação do formando. Outro problema se relaciona a padronização da nota em uma escala de 1 a 5, deixando de lado a real necessidade de medir se o conhecimento e as habilidades foram adquiridos. Com as escolas de engenharia, para se manterem, buscam melhores resultados no ENADE, pode-se dizer que focam seus esforços na obtenção de conceitos 4 ou 5, se espelhando em um modelo falho de formação e não o de competências. Portanto, conclui-se que poucos cursos de engenharia realmente estão preparados para educar profissionais para a Transformação Digital.

**6) Quais são as diretrizes estratégicas para a concepção a atualização de cursos de engenharia no contexto da Transformação Digital?**

Com base nos resultados da RSL, as diretrizes devem ser formuladas a partir da análise das Tecnologias Educacionais que estão disponíveis para a Educação em Engenharia. Elas se dividem naquelas para a gestão acadêmica e para o operacional, ou seja, diretamente na formação de competências (CASTAÑEDA; SELWYN, 2018; IPEK; ZIATDINOV, 2017). No caso específico da Transformação Digital, há aquelas para a transmissão de conhecimento por meio de softwares de simulação ou ambientes que simulam situações reais (MAY; WOLD; MOORE, 2015). Outrossim, a *Smart Education* possui componentes importantes para a Educação em Engenharia, que em uma análise, dará subsídios para o estabelecimento de diretrizes estratégicas. Aliada às Tecnologias Educacionais, a *Smart Education* considera a pedagogia inteligente, portanto, a adoção de metodologias baseadas em aprendizagem ativa (USKOV et al., 2018). Além disso, ela também adota, dentro do conceito de uma *Smart University*, os ambientes de aprendizagem flexíveis e inteligentes que usam as Tecnologias Educacionais para a formação de competências (USKOV et al., 2016).

Contudo, não há uma modelo que conduza a análise de Tecnologias Educacionais e *Smart Education* e que resulte em diretrizes estratégicas dos cursos de engenharia. Isso leva a última questão de pesquisa:

**7) Qual é o modelo para a elicitação de diretrizes estratégicas para a concepção e atualização de curso de engenharia?**

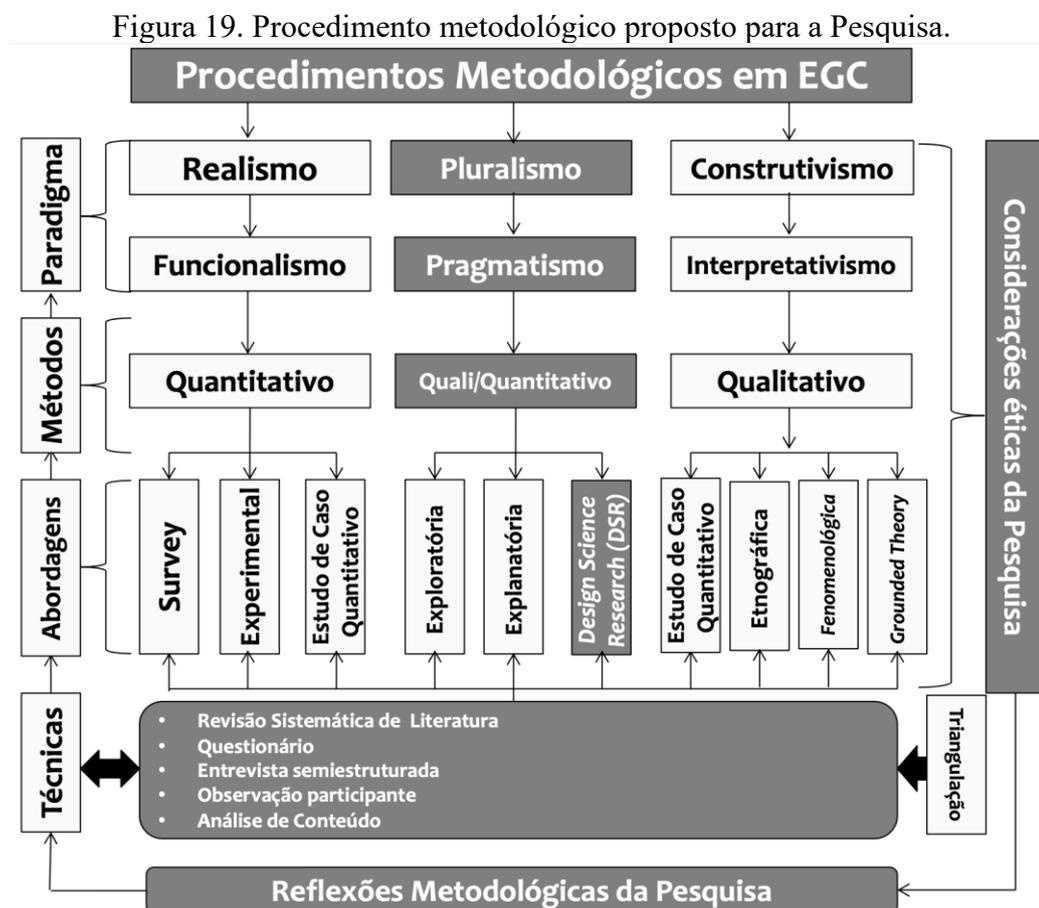
Esta questão será respondida no Capítulo 5 PROJETO DO ARTEFATO: O MODELO CONCEITUAL, quando ele é validado pelos especialistas em Educação em Engenharia. O modelo acabou considerando a análise das Tecnologias Educacionais e a da *Smart Education*. Adicionalmente, como premissa apontada pelos entrevistados, a Regulamentação para a Engenharia também está no modelo conceitual.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa. Preliminarmente, é apresentada a caracterização da pesquisa nos seus diferentes aspectos. Na sequência, apresentam-se o método, a abordagem da pesquisa e as técnicas propostas para a coleta de dados. E, enfim, apresenta-se o contexto no qual foi realizada a pesquisa, conforme especifica a Figura 19.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa desta tese de doutorado pode ser caracterizada, quanto à sua natureza, ao paradigma adotado, ao método, à abordagem de pesquisa implementados e as técnicas para a coleta de dados, conforme descrito nas subseções a seguir.



Fonte: Adaptado de (NGULUBE, 2015; SANTOS, 2020).

#### **4.1.1 Quanto à Natureza da Pesquisa**

Quanto à sua natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, que tem como objetivo conceber um “Modelo para a Formulação de Diretrizes Estratégicas para Concepção de Cursos de Engenharia no Contexto da Transformação Digital”.

De fato, os atuais cursos de engenharia foram estruturados por conteúdos para atender os desafios e as oportunidades da Era Industrial. Entretanto, o contexto da Transformação Digital exige um novo profissional de engenharia, com novas competências, que não são contempladas na formação atual.

#### **4.1.2 Quanto ao Paradigma da Pesquisa**

Quanto ao paradigma, trata-se de uma pesquisa pluralista e pragmática, pois, ao mesmo tempo que abordou o fenômeno da Transformação Digital e seus impactos no ensino de engenharia, de forma teórica, para compreendê-los nos seus diferentes aspectos, buscou uma solução para aplicá-la em contexto prático, que foi a concepção de um “Modelo para a Formulação de Diretrizes Estratégicas para Concepção de Cursos de Engenharia no Contexto da Transformação Digital”, a partir de uma exaustiva Revisão Sistemática de Literatura (RSL).

#### **4.1.3 Quanto ao Método de Pesquisa**

Quanto ao método, trata-se de uma pesquisa quali-quantitativa, pois envolveu a RSL, assim como as entrevistas com os especialistas das oito universidades participantes do convênio Programa Brasil-EUA de Modernização da Graduação (CAPES-CNE-COMISSÃO FULBRIGHT, 2018), para a avaliação da consistência do modelo a ser configurado.

#### **4.1.4 Quanto à Abordagem de Pesquisa**

A abordagem metodológica utilizada envolveu uma visão multidisciplinar, baseada no paradigma funcionalista, com definições basilares dos conceitos de “*Educational Technology*”, “*Engineering Education*” e “*Smart Education*”.

A pesquisa foi baseada no *Design Science Research* – DSR (DRESCH; PACHECO; VALLE ANTUNES, 2015) e foi prescritiva, pois propôs um modelo e utilizou o método misto

(quali-quantitativo). A DSR é uma abordagem de pesquisa com capacidade de entregar um artefato, que foi o modelo para a definição de “Diretrizes Estratégicas para a Concepção de Cursos de Engenharia no Contexto da Transformação Digital. Por meio da modelagem de uma organização intensiva em conhecimento, que é o caso de uma escola de engenharia, pretende-se formular essas diretrizes estratégicas. Para que isso seja possível, o *Lightweight CommonKADS* (SURAKRATANASAKUL, 2017) foi previamente incorporado à DSR, como método para a modelagem do conhecimento.

Portanto, a DSR se encaixa como uma abordagem de pesquisa adequada para o desenvolvimento desta proposta de tese, conforme descrito a seguir.

## 4.2 DESIGN SCIENCE RESEARCH

As fases aqui presentes foram adaptadas da proposta original de DRESCH; PACHECO; VALLE ANTUNES (2015). Para esta proposta de tese, as 12 fases da Figura 20 foram consideradas. Contudo, este item trata apenas das fases de 1 a 5. As fases de 6 a 9 estão explicitadas no Capítulo 5. Por fim, as fases de 10 a 12 no Capítulo 6, o das Conclusões.

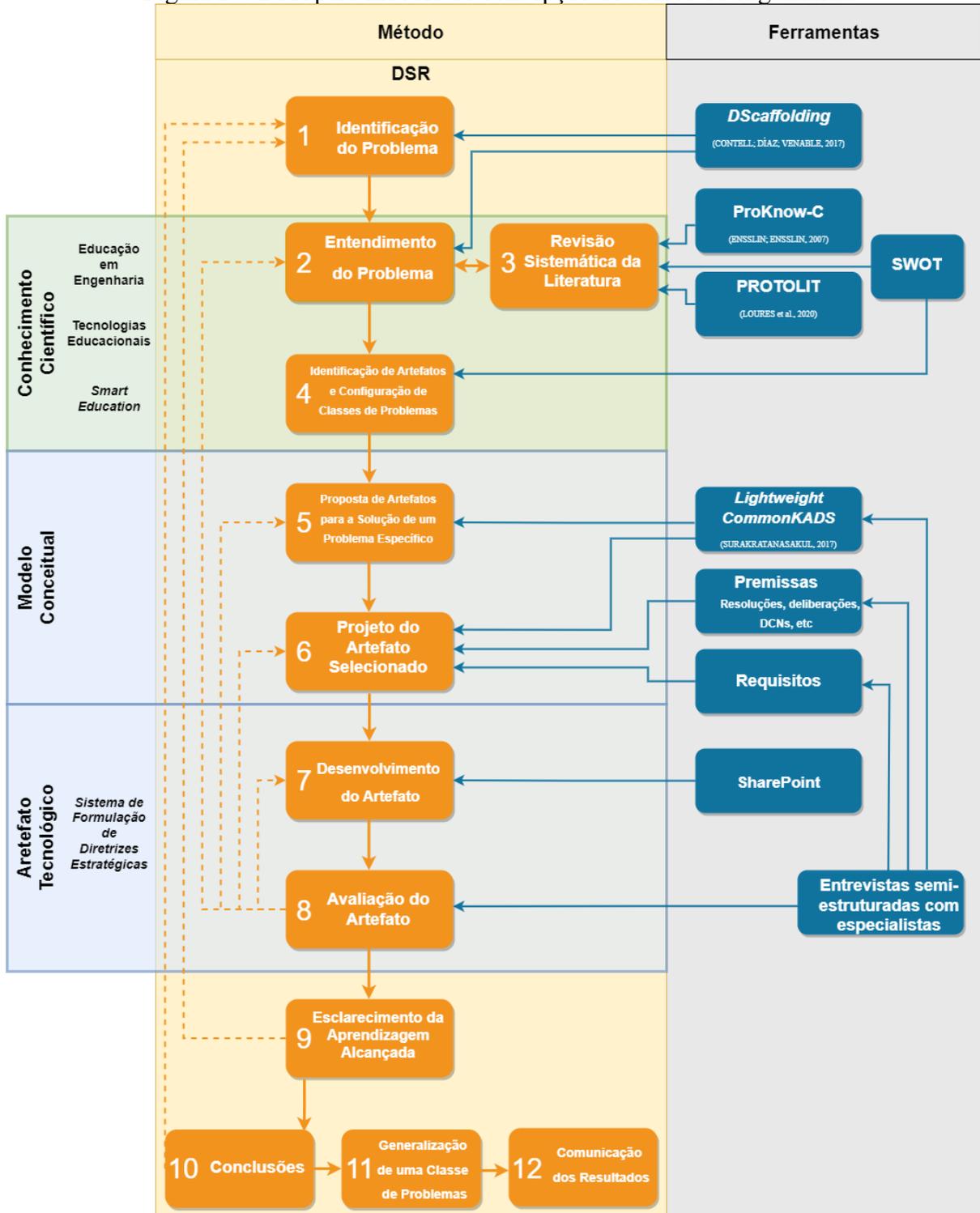
A título de mapeamento, a Figura 20 também ilustra quais ferramentas foram utilizadas como apoio para as fases da DSR. O mesmo foi feito para explicitar em que fases a DSR aborda o conhecimento científico, as fases em que o modelo conceitual foi construído e as fases em que o modelo conceitual foi implementado como um artefato tecnológico.

### 4.2.1 Fase 1 – Identificação do Problema

A primeira fase é a de **identificação do problema**. De acordo com DÍAZ (2017), “Um problema é um *gap* entre um estado atual e um estado desejado”. No exemplo desta proposta de tese, o estado presente é “a inexistência de modelos estratégicos para a formação de competências necessárias no contexto da Transformação Digital”. Portanto, o estado desejado é que a Educação em Engenharia possua um modelo conceitual de formulação de diretrizes estratégicas que permita aos estudantes adquirirem as competências para enfrentar os desafios e as oportunidades da Transformação Digital.

Uma ferramenta foi utilizada como apoio para a formulação do problema, o *DScaffolding* (CONTELL; DÍAZ; VENABLE, 2017). Esta ferramenta oferece um mapa conceitual estruturado para o uso do DSR, por meio do MindMeister e extensão adicionada ao navegador Google Chrome. O mapa conceitual parcialmente estruturado para este projeto de

Figura 20. DSR para modelo de concepção de cursos de engenharia.



Fonte: Adaptado de DRESCH; PACHECO; VALLE ANTUNES (2015).

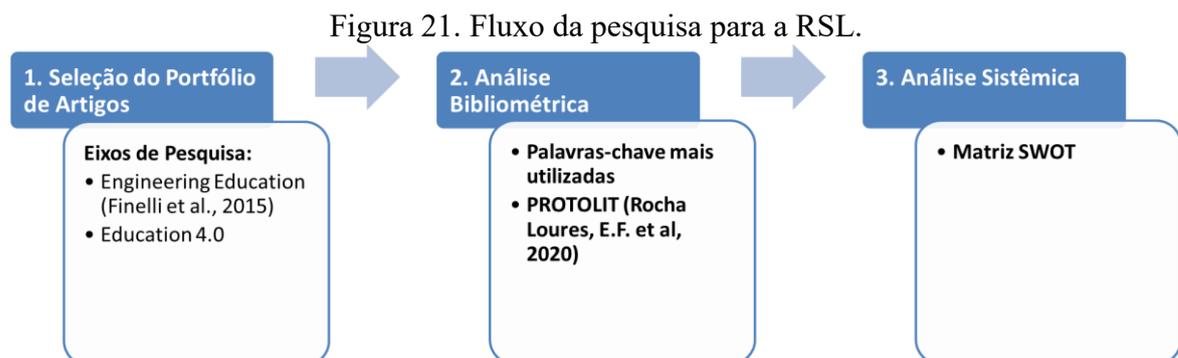
tese, usando o *DScaffolding*, pode ser consultado no seguinte link: <https://www.mindmeister.com/1958963615>. Ele não foi preenchido em sua totalidade, considerando as necessidades específicas da presente tese. Os detalhes do problema de pesquisa já foram discutidos no Capítulo 1, item 1.2.

#### 4.2.2 Fase 2 - Entendimento do Problema

A fase de **entendimento do problema** é a compreensão de onde o problema se localiza, quais são as suas causas e as suas consequências. Uma vez que o contexto do problema está bem-posicionado, as causas do problema são encontradas e consequências explicitadas. Por este caminho é possível delinear o problema, revelando lacunas no conhecimento. Esta fase da DSR também já foi discutida nos itens 1.2, 1.3 e 1.6 do Capítulo 1, por meio da definição do problema, as partes interessadas e a justificativa da pesquisa, onde as causas e consequências são evidenciadas. O contexto, as causas e as consequências também são ilustradas no mapa conceitual, por meio do *DScaffolding*. O entendimento do problema tem relacionamento direto com a revisão sistemática da literatura, assunto da próxima fase.

#### 4.2.3 Fase 3 - Revisão Sistemática da Literatura

O fluxo utilizado para a Revisão da Literatura está representado na Figura 21. Percebe-se a presença de dois métodos utilizados para a Revisão Sistemática da Literatura (RSL): o ProKnow-C – *Knowledge Development Process – Constructivist* (ENSSLIN; ENSSLIN, 2007) determinando o fluxo; e o PROTOLIT – Processo de Tomada de Decisão Multicritério em Revisão Sistemática da Literatura em Pesquisas Científicas (LOURES et al., 2020) para a análise bibliométrica.



Fonte: O autor.

A escolha do primeiro método se deve a sua proposta de RSL em três etapas: seleção do portfólio de artigos, análise bibliométrica e análise sistêmica. Contudo, a análise bibliométrica valoriza muito a relevância acadêmica, como o número de citações, autores e periódicos mais relevantes. Considerando apenas estes critérios, publicações recentes, com novidades sobre a Educação em Engenharia, deixariam de fazer parte do portfólio bibliográfico. Portanto, o segundo método foi considerado como complementar ao primeiro, já que possui um processo de tomada de decisão multicritério, com mais opções de parametrização por meio de pesos. Desta maneira, foi possível determinar peso maior para publicações recentes e menor para o número de citações, resultando na inclusão de trabalhos que contribuíram para esta proposta de tese, mas não deixando de lado a relevância acadêmica. As palavras-chave mais utilizadas continuaram sendo consideradas na análise bibliométrica.

Na terceira etapa, uma matriz SWOT foi aplicada para analisar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças das palavras-chave mais utilizadas nas publicações que fazem parte do portfólio bibliográfico.

O detalhamento de como os dois métodos foram usados está descrito no APÊNDICE A –

#### **4.2.4 Fase 4 - Identificação de Artefatos e Configuração de Classes de Problemas**

Na quarta fase da DSR, a RSL ainda se faz presente. Por meio da revisão da literatura, a **identificação de artefatos** existentes, que colaboram na solução de problemas do passado, é possível. Tais artefatos podem ser úteis a um pesquisador que busca a solução para um problema de pesquisa atual. Esses artefatos são aplicados na íntegra ao contexto de pesquisa da atualidade, mas também podem sofrer adaptações ou servir de inspiração para a construção de novos artefatos. A RSL também contribuiu para a **configuração de classes de problemas**. Um pesquisador realiza a revisão da literatura para encontrar problemas similares e quais artefatos foram propostos como solução. A análise SWOT realizada no Capítulo 2, para as três palavras-chave mais usadas, contribuiu para a configuração de classes de problemas, com as lentes para as fraquezas e as ameaças. Enquanto a identificação de artefatos se deu pelas dimensões das forças e oportunidades. A Figura 18 sintetiza como os artefatos existentes nos pilares das Tecnologias Educacionais e na *Smart Education* sustentam a Educação em Engenharia para a formação por competências.

#### 4.2.5 Fase 5 - Proposta de Artefatos para a Solução de um Problema Específico

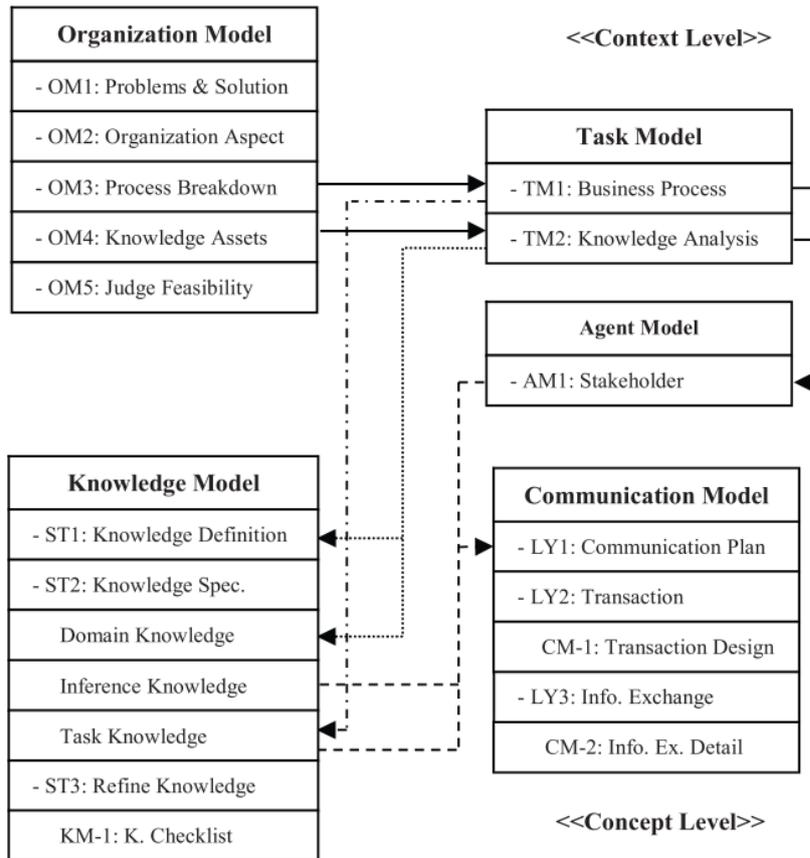
A **proposta de artefatos para a solução de um problema específico** vem do passo anterior, por meio da identificação de artefatos desenvolvidos e das classes de problemas. “Primeiramente, um artefato genérico é adotado como solução para um problema genérico. Contudo, a solução precisa ser adaptada para um problema em estudo. O pesquisador irá propor artefatos, considerando o seu contexto, performance, viabilidade e outras características” (DRESCH; PACHECO; VALLE ANTUNES, 2015). Considerando esse cenário, um artefato pode ser adotado na íntegra ou parcialmente. Para este projeto de tese, considerou-se que os modelos e boas práticas presentes nas Tecnologias Educacionais e na *Smart Education* apoiam a Educação em Engenharia. Portanto, podem ser oportunidades para a definição de diretrizes estratégicas para a concepção de cursos de engenharia. Entretanto, ainda se fez necessário a utilização de outro artefato para a modelagem do conhecimento existente em instituições de ensino superior (limitado às escolas de engenharia), aliando às boas práticas e modelos presentes nas Tecnologias Educacionais e *Smart Education*. O artefato escolhido foi o *Lightweight CommonKADS* (SURAKRATANASAKUL, 2017).

##### 4.2.5.1 *Lightweight CommonKADS*

O *Lightweight CommonKADS* (SURAKRATANASAKUL, 2017) é uma versão resumida do tradicional *CommonKADS* (SCHREIBER et al., 1999) para organizações intensivas em conhecimento. A ferramenta contribui para que engenheiros de conhecimento com pouca experiência compreendam facilmente o ambiente organizacional, por meio da redução dos processos, focando apenas nos níveis de contexto e conceito do *CommonKADS*. Os autores do *Lightweight CommonKADS* apontam que o *CommonKADS* possui redundâncias em alguns níveis, o que causa problemas de consistência e integridade. Portanto, eles analisaram todas as relações nos níveis de contexto e conceito, visando resolver os problemas (Figura 22). Os resultados obtidos foram os critérios para a ferramenta resumida, contendo apenas os relacionamentos necessários, por meio de uma estrutura mínima e processos reduzidos.

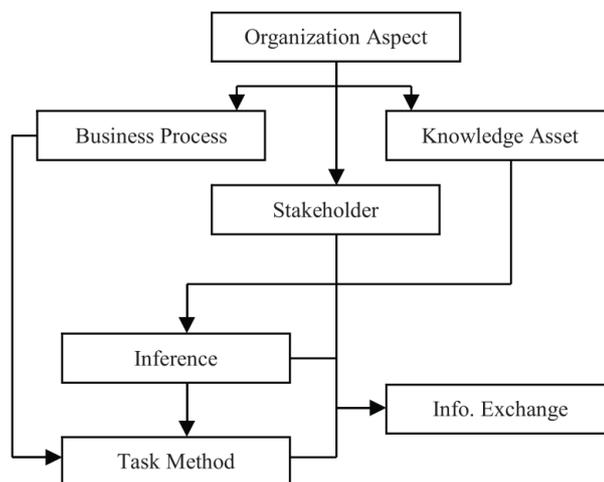
A Figura 23 apresenta a metodologia do *Lightweight CommonKADS*, que contém apenas: os Aspectos da Organização, os Processos de Negócios, os Ativos de Conhecimento, as Partes Interessadas, a Inferência, o Método de Tarefa e a Troca de Informações.

Figura 22. Relacionamento dos modelos presentes nos níveis de contexto e conceito do CommonKADS.



Fonte: SURAKRATANASAKUL (2017).

Figura 23. A metodologia *Lightweight CommonKADS*.



Fonte: SURAKRATANASAKUL (2017).

#### 4.2.5.1.1 Aspectos da Organização

Os aspectos da organização fazem parte do modelo organizacional e mostram como um processo de negócios é estruturado, quais funcionários estão disponíveis, bem como os recursos (SCHREIBER et al., 1999).

Outras particularidades de uma organização também podem ser envolvidas. Para a estruturação dos aspectos da organização, a planilha OM-2<sup>2</sup> é sugerida. Ela contém os componentes importantes de aspectos organizacionais, como a estrutura organizacional, os processos, as pessoas, os recursos, o conhecimento e a cultura/responsabilidades.

No contexto de uma escola de engenharia, a **estrutura organizacional** para a concepção de um curso de engenharia foi definida, considerando as diretrizes estratégicas. Conseqüentemente, as **pessoas** envolvidas nos processos de um curso de engenharia foram indicadas. Essas pessoas são as partes interessadas: estudantes, professores, coordenação, funcionários e a Sociedade. Os componentes referentes aos **recursos** foram divididos inicialmente em dois: os de apoio à gestão acadêmica e os de suporte à Educação em Engenharia. Os primeiros são aqueles que gerenciam matrículas, carga horária docente, contratos de parcerias e outras ferramentas de suporte. Quando aliadas às técnicas de Inteligência Artificial, elementos da *Smart Education* passam a ser incorporados na gestão acadêmica, por exemplo, *Smart Learning Analytics*. Ainda na dimensão da gestão acadêmica, um coordenador de curso necessita gerenciar os recursos humanos e materiais que dispõe, como professores e funcionários. Estes são aqueles que dão suporte à gestão acadêmica e os que operacionalizam os espaços de aprendizagem, por exemplo, técnicos de laboratório.

Partindo para os recursos de suporte à Educação em Engenharia, um coordenador de curso tem de gerenciar os espaços de aprendizagem, que contém recursos comuns a outras especialidades da engenharia, mas também os específicos. Além disso, há a administração de materiais consumíveis dos espaços de aprendizagem. Considerando o contexto da Transformação Digital da Educação em Engenharia que traz a aprendizagem por competências como requisito, a gestão de cursos de engenharia necessita ser ágil e flexível.

Outrossim, os recursos também são utilizados por professores, estudantes, funcionários e a Sociedade, quando está em plena operação colaborativa com a Educação em Engenharia. Professores e estudantes são atores ativos na utilização de ambientes virtuais de

---

<sup>2</sup> A planilha OM-2 (*Organization Model – 2*) se refere aos aspectos organizacionais que geram impacto ou são impactados pelas escolhas de soluções de conhecimento (SCHREIBER et al., 1999).

aprendizagem, seja para o ensino presencial, semipresencial, à distância e simultâneo. Eles são diretamente impactados pela operação dos espaços de aprendizagem que usufruem, enquanto a Sociedade é impactada em curto, médio ou longo prazo pelos processos educacionais. Em curto prazo, quando um problema real de engenharia é usado como desafio para que os estudantes encontrem uma solução. Médio prazo para projetos de pesquisa. E longo prazo quando a Sociedade aguarda pelos novos engenheiros. Por fim, funcionários são usuários dos sistemas de suporte à gestão acadêmica.

“O componente ‘**conhecimento**’ representa um recurso especial explorado em um processo de negócios” (SCHREIBER et al., 1999). No âmbito da Educação em Engenharia, podem ser consideradas as melhores práticas para a gestão de cursos, como o *Smart Learning Analytics*. Por outro lado, a formação de competências conta com as metodologias baseadas em aprendizagem ativa, por exemplo, aprendizagem baseada em problemas, desafios ou projetos, que aliadas às Tecnologias Educacionais, constroem o pilar da *Smart Education*. Boa parte das metodologias baseadas em aprendizagem ativa possuem modelos já explicitados, que podem ser incorporados a uma política de diretrizes estratégicas. Maiores detalhes são dados na planilha OM-4, ativos do conhecimento.

Por fim, **cultura e responsabilidades** representam as formas como os processos acontecem, tal como estão definidas as redes entre os agentes e entre os próprios processos de negócios. Os relacionamentos formais e informais também estão presentes. Para a Educação em Engenharia, há de se cuidar com a legislação vigente, e.g., DCNs, resoluções e outros documentos balizadores do Ministério da Educação, bem como resoluções da própria instituição de ensino superior. Contudo, a modernização da Educação em Engenharia pode requerer alterar e atualização da legislação vigente, para que os processos educacionais se tornem viáveis, diante do cenário da Transformação Digital. A título de exemplo, no ensino tradicional, há um relacionamento entre o agente professor e o agente aluno, onde é dito que o primeiro é o detentor do conhecimento que será transmitido ao segundo. Contudo, na Educação em Engenharia moderno, apoiado pelas Tecnologias Educacionais e *Smart Education*, o conhecimento é construído colaborativamente entre os dois agentes, com o professor no papel de orientador no processo de ensino-aprendizagem. Além disso, a educação informal está presente no ambiente educacional. Ela ocorre no relacionamento professor-estudante e estudante-estudante, por exemplo (RICHERT et al., 2016), e é de difícil codificação e medição de como afeta nos resultados de aprendizagem.

#### 4.2.5.1.2 Ativos de Conhecimento

Os ativos de conhecimento são descritos de acordo com a planilha OM-4<sup>3</sup> do *CommonKADS* (SCHREIBER et al., 1999). Esta planilha define previamente os componentes de conhecimento no nível do modelo organizacional. O refinamento é realizado posteriormente no modelo de conhecimento.

Cada ativo de conhecimento é relacionado a um detentor e situação de aplicação. Também há quatro perguntas relativas aos ativos de conhecimento: a aplicação é realizada de maneira correta? No local correto? No tempo certo? Na qualidade desejada?

Agora, considere o seguinte exemplo para a Educação em Engenharia:

*Uma disciplina extensionista de um curso de engenharia prevê resultados de aprendizagem que colaboram para a formação de competências. Nela, os professores conduzem aulas iniciais com a metodologia da Sala de Aula Invertida (KARABULUT-ILGU; JARAMILLO CHERREZ; JAHREN, 2018) e conduzem a elaboração de propostas de solução para desafios da Sociedade, por meio do framework CDIO (CRAWLEY, 2001; CRAWLEY et al., 2011) e da aprendizagem baseada em desafios (APPLE, 2010). Para o melhor cenário, funcionários de empresas parceiras ou representantes da Sociedade prestam horas de mentorias durante um semestre letivo.*

Diante do cenário acima, o ativo do conhecimento pode ser assim descrito:

**Ativo de conhecimento:** aplicação da aprendizagem baseada em desafios, modelo CDIO e Sala de Aula Invertida;

**Detentor do ativo de conhecimento:** professores da disciplina;

**Situação de aplicação:** disciplina extensionista de curso de engenharia;

**A aplicação é realizada de maneira correta?** Parcialmente. Os professores decidiram por realizar a fase de engajamento da CBL sem os estudantes, para facilitar o delineamento de desafios possíveis de serem resolvidos no escopo da disciplina. Já o CDIO e a sala de aula invertida estão sendo aplicadas corretamente;

**A aplicação é realizada no local correto?** Sim! A Sociedade é repleta de desafios reais de engenharia que podem ser tratados em uma disciplina extensionista;

---

<sup>3</sup> A planilha OM-4 (*Organization Model – 4*) se refere aos componentes de conhecimento do modelo organizacional e suas principais características (SCHREIBER et al., 1999).

**A aplicação é realizada no tempo certo?** Sim! Dentro de um semestre acadêmico. Contudo, algumas soluções demandam melhorias que podem ser discutidas em um próximo semestre ou como projeto de pesquisa futuro;

**A aplicação é realizada na qualidade desejada?** Parcialmente. Foi provado que há lacunas de aprendizagem para a disciplina. A disciplina extensionista em questão não prevê aprofundamento em alguns temas de estudo que são considerados requisitos para ela.

O exemplo mostra que o ativo de conhecimento é possuído por um conjunto de professores de uma disciplina extensionista. Eles aplicam no local correto e no tempo certo, mas modificaram a maneira de aplicação de um framework e têm certas dificuldades na condução das atividades acadêmicas, devido à lacuna de formação dos estudantes. Este é um cenário mostrando que o ativo de conhecimento existente abre brechas para correção e atualização.

#### 4.2.5.1.3 Processos de Negócio

Na proposta do *Lightweight CommonKADS* a planilha TM-1<sup>4</sup> (SCHREIBER et al., 1999) é sugerida diretamente como apoio ao modelo de tarefas, descartando o detalhamento do processo que seria realizado na planilha OM-3<sup>5</sup>.

Nesta etapa, os processos de negócio são definidos pela análise de tarefas e contém: a tarefa, objetivo e valor, dependência e fluxo, objetos manipulados, tempo e controle, agentes, conhecimento e competência, recursos e qualidade e performance.

A **tarefa** deve conter um indicador e um nome. Por exemplo, “Tarefa N01 – aplicar Sala de Aula Invertida”. Já a **organização** é a escola de engenharia onde a Tarefa N01 é aplicada por professores. O **objetivo e valor** da tarefa é “promover o engajamento dos estudantes, promovendo a flexibilidade, interação, habilidades profissionais e interpessoais”.

A **dependência e fluxo** do processo podem ser descritos por um diagrama de atividades, que considera tarefas de entrada e de saída. Por exemplo, as tarefas de entrada são atribuições dadas aos estudantes como atividades pré-aula, seguidas por um teste formativo para a medição de conhecimentos no início da aula. Em seguida, o professor orienta os estudantes no aprofundamento do tema estudado por meio de uma atividade de pesquisa e

---

<sup>4</sup> A planilha TM-1 (*Task Model – 1*) se refere ao refinamento na análise de tarefas de um processo estudado.

<sup>5</sup> A planilha OM-3 (*Organization Model – 3*) se refere ao detalhamento de um processo e de quais tarefas ele é composto e suas principais características (SCHREIBER et al., 1999).

seleção de exemplos de aplicação. Já as saídas, podem ser apresentações sintetizadas dos estudantes, seguidas de discussão ou até mesmo outro teste somativo.

Os **objetos manipulados** no processo são os de entrada, de saída e internos. Os objetos de entrada nos exemplos da sala de aula invertida são as leituras pré-selecionadas pelo professor, bem como vídeos preparatórios, as questões e os resultados do teste formativo. Por outro lado, os de saída são as apresentações geradas pelos estudantes e os resultados do teste somativo. Já os objetos internos são as técnicas da *Smart Education* integrada às Tecnologias Educacionais como apoio ao docente. Por exemplo, *dashboards* que indicam ao professor os conteúdos que precisam de reforço para a absorção do conhecimento por parte dos estudantes.

O **tempo e controle** são a frequência e duração de uma tarefa e a relação com outras, que também podem ser descritos em um diagrama de atividades. Devem considerar pré-condições e pós-condições. No exemplo da sala de aula invertida, o tempo de uma leitura pré-aula pode ser sugerido e exercícios de fixação. Estas tarefas têm relação com o teste formativo, no início de uma aula. No pós-aula, espera-se que os resultados de aprendizagem tenham sido atingidos.

Os **agentes** são os responsáveis pela execução de uma tarefa. No nosso exemplo, o professor propõe atividades pré-aula, em aula e pós aula. No caso de haver *Smart Learning Analytics* como apoio ao professor, o sistema é o agente que infere sobre a aprendizagem dos estudantes, informando ao docente sobre o rendimento individual de cada um e da turma.

Ainda no modelo de tarefas, elas são analisadas quanto ao **conhecimento e competências**. Estas são aquelas necessárias para o cumprimento de tarefas e indicam quais elementos das tarefas são intensivas em conhecimento. Exemplificando, para que um professor conduza uma sala de aula invertida, ele deve ser competente na tarefa. Não basta seguir o fluxo da metodologia. Além do docente precisar adaptá-la ao contexto de uma disciplina, ele tem que ser flexível para acomodar a metodologia ao estilo de aprendizagem de cada turma e cada estudante. O professor também deve gerenciar o tempo das atividades para que o processo de aprendizagem seja efetivo. Ele se vê obrigado a registrar falhas, propor melhorias e adaptar o próprio estilo de ensino. É fácil de perceber que para o exemplo citado, além do professor possuir competência para a atividade, o processo como um todo pretende colaborar para a formação de competências, ou seja, também entregá-las, como a previsto da proposta do modelo de tarefas.

Os **recursos** são aqueles consumidos pelas tarefas, e.g., que requerem tempo das pessoas envolvidas, dos sistemas e dos equipamentos necessários. Os materiais e gastos também

são contabilizados. No exemplo da sala de aula invertida, o professor é demandado em tempo para a preparação da aula e suas subatividades, bem como os estudantes para a execução das tarefas propostas. Para a pré-aula, um ambiente virtual de aprendizagem é necessário e que pode ser integrado a outras ferramentas computacionais. Para o momento da aula, um espaço de aprendizagem é demandado e a preparação deste requer horas de trabalho de um técnico de laboratório e outros funcionários. Por sua vez, consumíveis do laboratório devem ser contabilizados como recursos para as tarefas.

Enfim, a **qualidade e desempenho** são importantes para determinar o sucesso na execução das tarefas. Pela melhoria contínua na qualidade da Educação em Engenharia, indicadores de desempenho e suas metas são determinados por processos de acreditação internacional, por exemplo. Os indicadores das atividades de uma sala de aula invertida podem ser constantemente monitorados pelas partes interessadas, como a coordenação, os professores e os próprios estudantes. O padrão de qualidade é medido com base nas metas esperadas. Essa informação deve ser divulgada a todas as partes interessadas, o que inclui os estudantes. Pois para a coordenação e os professores as metas são transparentes, mas para os estudantes, nem sempre. Para estes, a meta pode ser apenas a aprovação na disciplina e não uma busca por melhoria contínua.

#### 4.2.5.1.4 Partes Interessadas

Seguindo a metodologia *Lightweight CommonKADS* o próximo passo é a definição do modelo de agente. As informações importantes de cada um dos agentes são inseridas na planilha AM-1<sup>6</sup>. “É importante que se tenha as diferentes perspectivas dos agentes, com o propósito de se entender os papéis e competências de cada um dos atores em uma tarefa compartilhada da organização” (SCHREIBER et al., 1999). Esta planilha é sugerida com as seguintes informações: nome, organização, envolvimento, comunicação, conhecimento, outras competências, responsabilidades e restrições.

Seguindo com o exemplo da sala de aula invertida, dois dos agentes mais importantes do processo tem os seus **nomes** definidos como “professor” e outro como “estudante”. Um agente de suporte, a nível de sistema de informação, é o “AVA”. Outro agente humano é o “técnico de laboratório”. Ambos estão posicionados na **organização** que pode ser chamada de

---

<sup>6</sup> A planilha AM-1 (Agent Model – 1) contém as especificações de um agente de acordo com o modelo de agente do CommonKADS (SCHREIBER et al., 1999).

“escola de engenharia”. O professor é o agente responsável pela **comunicação** de conhecimento de engenharia ao estudante, mas usando os ativos de conhecimento da organização, como a aplicação de metodologias baseadas em aprendizagem ativa em disciplina extensionista. Enquanto o AVA é o agente digital que comunica a proposta do professor ao estudante. E o técnico de laboratório é o agente na estrutura de suporte ao ensino, colaborando para a preparação e manutenção dos espaços de aprendizagem. Portanto, entre professor e técnico de laboratório, também há comunicação. Os quatro agentes citados neste parágrafo têm **envolvimento** com a “Tarefa N01 – aplicar Sala de Aula Invertida”, exemplificado no item anterior. A **comunicação** entre eles pode ser visualizada na Figura 24.

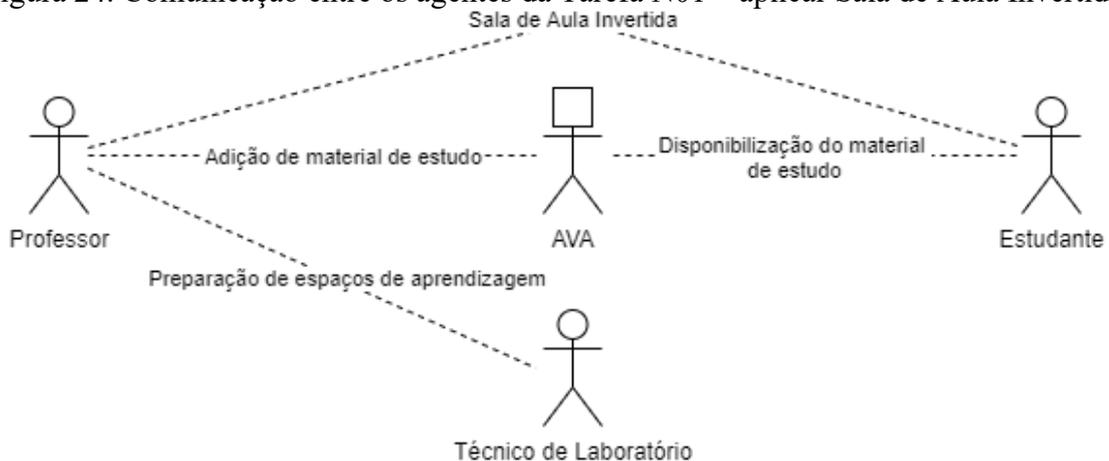
O **conhecimento** é usado pelo agente professor quando ele aplica a metodologia da Sala de Aula Invertida em uma disciplina extensionista de um curso de engenharia. Para tanto, o docente ainda precisa apresentar **outras competências** já mencionadas no item anterior, como flexibilidade e gestão de tempo.

Enfim, no modelo de agente, devem ser listadas as **responsabilidades e restrições** de cada ator no processo. No caso do agente “técnico de laboratório”, suas responsabilidades são preparar os ambientes de aprendizagem para as aulas, bem como manter os espaços. Se tratando de recursos compartilhados e flexíveis, o agente está restrito a preparar e manter os espaços em horários vagos e com os materiais disponíveis.

#### 4.2.5.1.5 Inferência

De acordo com a simplificação da metodologia *Lightweight CommonKADS*, uma inferência é a maneira como as partes interessadas de uma organização usam os ativos de conhecimento em um método de tarefa (Figura 23). Na tradicional metodologia do

Figura 24. Comunicação entre os agentes da Tarefa N01 – aplicar Sala de Aula Invertida.



Fonte: O autor.

*CommonKADS*, no nível de conhecimento conceitual (Figura 22), o modelo de conhecimento tem as inferências de conhecimento na sua composição.

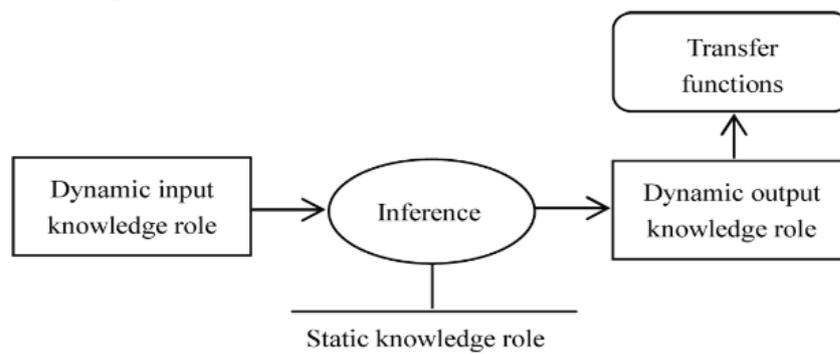
As inferências (Figura 25) são blocos de raciocínio executando uma etapa de raciocínio prévio. “Normalmente, uma inferência usa o conhecimento contido em alguma base de conhecimento para deduzir novas informações a partir de entradas dinâmicas” (SCHREIBER et al., 1999). Ou seja, são os passos de raciocínio de um sistema para a solução de um problema.

No exemplo de uso metodologia ativa de aprendizagem, pode-se dizer que a entrada dinâmica é um “tema de estudo”, portanto, variável conforme o plano de aulas em uma disciplina. Por exemplo, mapeando no conhecimento de domínio, tem-se IoT, Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina e outros temas de estudo. A nova informação deduzida é uma saída também dinâmica. A partir do tema de estudo dinâmico da entrada, a saída pode ter diferentes resultados de aprendizagem. A dedução, também mapeada no conhecimento de domínio para o exemplo, é que os resultados de aprendizagem possam ser excelentes, suficientes, regulares, em desenvolvimento ou não desenvolvidos. Por sua vez, metodologias de ensino também estão no conhecimento do domínio, mas em geral demonstram pouca variação. Um professor pode ENSINAR por meio de uma metodologia de ensino candidata a desenvolver os resultados de aprendizagem. No caso do exemplo, a metodologia escolhida foi a Sala de Aula Invertida (Figura 26).

#### 4.2.5.1.6 Método de Tarefa

A metodologia *Lightweight CommonKADS* reduz o processo de conhecimento de tarefa para apenas método de tarefa (*Task Method* na Figura 23). “Um método de tarefa descreve como uma tarefa pode ser realizada pela sua decomposição em subfunções e um

Figura 25. Estrutura de inferência do CommonKADS.



Fonte: SURAKRATANASAKUL (2017).

regime de controle sobre a execução dessas funções” (SCHREIBER et al., 1999). Ou seja, descreve como uma tarefa deve ser feita.

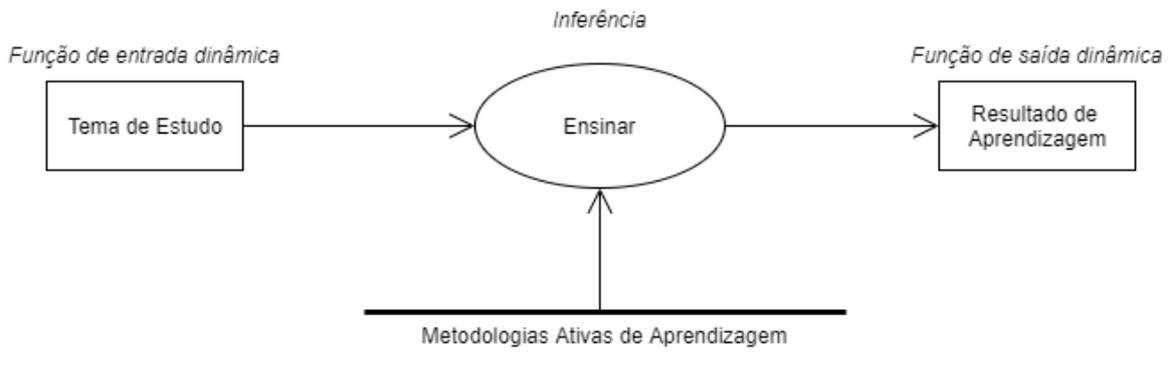
Suponha que no caso da metodologia ativa de aprendizagem para ensinar um tema de estudo, deseja-se executar a tarefa de conhecimento “melhorar os resultados de aprendizagem”. Então, ela pode ser decomposta nas subfunções “desenvolver competências” e “medir”. Como os resultados de aprendizagem são dinâmicos, eles são considerados entradas para a inferência “medir”, que conseqüentemente gera planos de ação também dinâmicos, que compõe o conhecimento de domínio. Assim, tem-se um método de tarefa aqui chamado “melhoria de resultados de aprendizagem por meio de metodologias baseadas em aprendizagem ativa” (Figura 27).

#### 4.2.5.1.7 Troca de Informações

No *Lightweight CommonKADS*, o modelo de comunicação no nível de conceito é resumido na planilha CM-2<sup>7</sup> do *CommonKADS*. Para que um projeto e implementação de um sistema de conhecimento sejam bem executados, deve-se dar atenção a forma de como as mensagens são escritas e a estrutura de transação, bem como a forma sintática e meio de informação das mensagens. A CM-2 é composta por transação, agentes envolvidos, itens da informação, especificações da mensagem e controle sobre mensagens.

Suponha o caso do docente que solicita ao técnico de laboratório a preparação de um ambiente de aprendizagem para uma aula que irá utilizar alguma metodologia de aprendizagem ativa. A **transação** pode ser identificada como “T01 – Preparar laboratório para aula”. Os **agentes envolvidos** são o remetente e o destinatário, professor e técnico, respectivamente.

Figura 26. Exemplo de inferência em uma aula de um curso de engenharia.



Fonte: O autor.

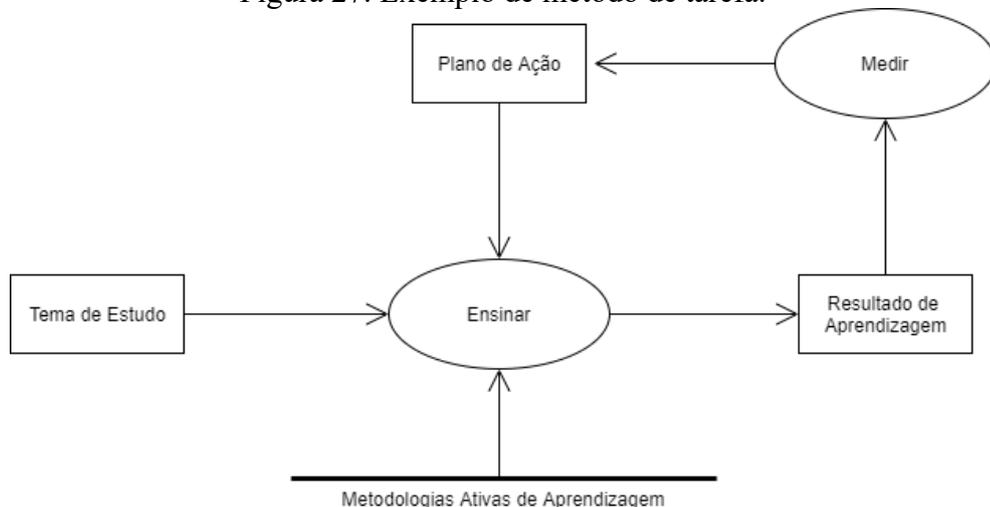
<sup>7</sup> A planilha CM-2 (*Communication Model – 2*) contém a especificação de troca de informações no modelo de comunicação (SCHREIBER et al., 1999).

Os **itens de informação** são aqueles transmitidos na transação. Eles devem conter a informação principal e outras informações de suporte que disponibilizam ajuda ou explicação. É importante que se disponibilize a função, forma e meio para as informações. Em ordem, a informação deve ser classificada como objeto principal ou de suporte; a forma deve ser sintática quando transmitida de uma agente para outro; e o meio pode ser uma interface de pedidos construída em uma plataforma BPMS (*Business Process Management Suite*), por exemplo, que contém as opções para o pedido. A transação “T01 – Preparar laboratório para aula” pode conter alguns campos para o pedido, como: quantidade de estudantes, tipo de metodologia ativa, configuração do leiaute do laboratório, materiais de consumo e outros.

As **especificações da mensagem** incluem o tipo de comunicação, conteúdo e referência. O tipo de comunicação deve descrever a intenção, se ilocucionária ou em terminologia de fala. Exemplificando, “o docente demanda algo.” O conteúdo deve conter a declaração ou proposição contida na mensagem, por exemplo “o docente demanda a preparação do laboratório para uma aula de Internet das Coisas”. E a referência pode conter habilidades requeridas dos agentes para enviar ou processar uma mensagem. No caso do técnico, podem ser requeridas habilidades de um técnico em mecatrônica para preparar o laboratório para uma aula de IoT.

Por fim, a **controle sobre as mensagens** é feito quando há um plano de comunicação especificado na forma de um diagrama estado-transição. As confirmações de envio, recebimento e leitura da demanda são exemplos.

Figura 27. Exemplo de método de tarefa.



Fonte: O autor.

#### 4.2.5.1.8 Considerações Iniciais sobre a Metodologia *Lightweight CommonKADS*

A metodologia é uma boa ferramenta para que um engenheiro do conhecimento com pouca experiência inicie a modelagem do conhecimento no nível de contexto e no nível de conceito. Ela reduz etapas e processos redundantes facilitando a compreensão de um modelo organizacional e das tarefas intensivas em conhecimento.

Todavia, poderá haver necessidade de se expandir a modelagem para a versão tradicional do *CommonKADS*, considerando as dimensões de uma escola de engenharia e todos os relacionamentos que nela ocorrem. Contudo, esta tese se limitou a definição de um modelo conceitual de diretrizes estratégicas e o seu teste em apenas algumas tarefas intensivas em conhecimento. Portanto, em uma análise inicial, a proposta do *Lightweight CommonKADS* foi suficiente.

Assim, parte-se para a próxima fase da DSR, o projeto do artefato desta tese, que usa a metodologia *Lightweight CommonKADS*. O tópico será tratado no próximo capítulo.

## 5 PROJETO DO ARTEFATO: O MODELO CONCEITUAL

Neste capítulo, são tratadas as fases 6 a 9 do DSR: o projeto do artefato, o desenvolvimento dele, a sua avaliação e a explicitação da aprendizagem alcançada. Neste capítulo foi definido o Modelo Conceitual para Formulação de Diretrizes Estratégicas na Concepção e Atualização de Cursos de Engenharia no Contexto da Transformação Digital.

### 5.1 FASE 6 – PROJETO DO ARTEFATO

A partir do artefato selecionado na Fase 5, se faz o projeto do artefato para as próximas etapas da DSR. Para tanto, o projeto deve considerar as características internas e externas da situação problema a ser solucionada, bem como todos os relacionamentos de seus componentes (DRESCH; PACHECO; VALLE ANTUNES, 2015). Tais características foram previamente levantadas na fase 2 (entendimento do problema), com apoio da revisão da literatura.

É nesta fase que o Modelo Conceitual para a formulação de diretrizes estratégicas **foi projetado**. Ou seja, o artefato construído foi o Modelo Conceitual. Contudo, para o projeto do artefato, se fez necessário identificar características pré-existentes no ambiente de uma escola de engenharia, considerando-as como **premissas**. Também foi mandatório levantar os **requisitos** para o artefato, que foram demandados pelas partes envolvidas.

As **premissas** foram suscitadas em documentos balizadores, como resoluções, leis, deliberações, manuais, procedimentos internos e externos, e até mesmo as diretrizes já existentes, como as DCNs. A cultura organizacional, contendo procedimentos formais e informais, também foi levantada como premissa. Recursos existentes também foram definidos como premissas, tais como a infraestrutura de espaços de aprendizagem, sistemas de gestão acadêmica e de aprendizagem e recursos humanos.

Com relação aos **requisitos**, foram considerados aqueles que são importantes para as partes interessadas. “Um requisito é uma propriedade de um artefato que é considerado desejável pelos *stakeholders* e que deve ser usado para orientar o projeto e o desenvolvimento do artefato” (CONTELL; DÍAZ; VENABLE, 2017). As diretrizes estratégicas foram guiadas pelas características presentes nos pilares das Tecnologias Educacionais e da *Smart Education*, somadas aos requisitos demandados pelos especialistas em Educação em Engenharia. Cada um dos requisitos foi explicado com relação a sua necessidade e relacionado ao problema a ser solucionado: falta de competências para enfrentar os desafios e oportunidades da

Transformação Digital. Os requisitos do artefato foram divididos em funcionais e não-funcionais.

Para a identificação das premissas e dos requisitos, uma **entrevista semiestruturada**, por meio de um formulário, foi realizada com especialistas em Educação em Engenharia, coordenadores de cursos, professores de engenharia, pesquisadores de Educação em Engenharia, decanos (ou de cargo semelhante, como diretor) e partes interessadas com outras posições dentro de uma IES. Os detalhes desta pesquisa estão descritos na próxima seção.

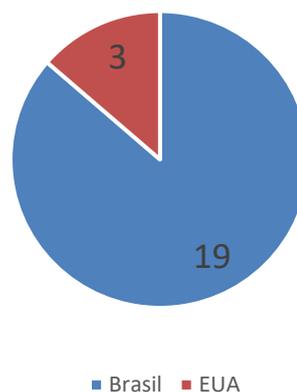
### 5.1.1 Pesquisa Semiestruturada para o Projeto do Artefato

A pesquisa ficou limitada a representantes das oito universidades participantes do PMG (CAPES-CNE-COMISSÃO FULBRIGHT, 2018) e representantes de universidades norte-americanas reconhecidas pela Educação em Engenharia: *University of Illinois – Urbana-Champaign*, *University of Pittsburgh* e *Purdue University*. Ao todo, a pesquisa teve 22 respondentes, sendo que 18 são brasileiros e apenas 3 estadunidenses (Figura 28).

A pesquisa iniciou com uma seção denominada “Sobre você”, contendo uma única questão que serviu para identificar o papel do participante na Educação em Engenharia, gerando a distribuição da Figura 29. Eles puderam marcar mais de uma das seguintes opções:

- Eu sou especialista em Educação em Engenharia;*
- Eu sou um coordenador de curso;*
- Eu sou um professor;*
- Eu sou um pesquisador de Educação em Engenharia;*
- Eu sou um decano, diretor ou de cargo similar;*

Figura 28. Distribuição dos participantes da pesquisa por país.

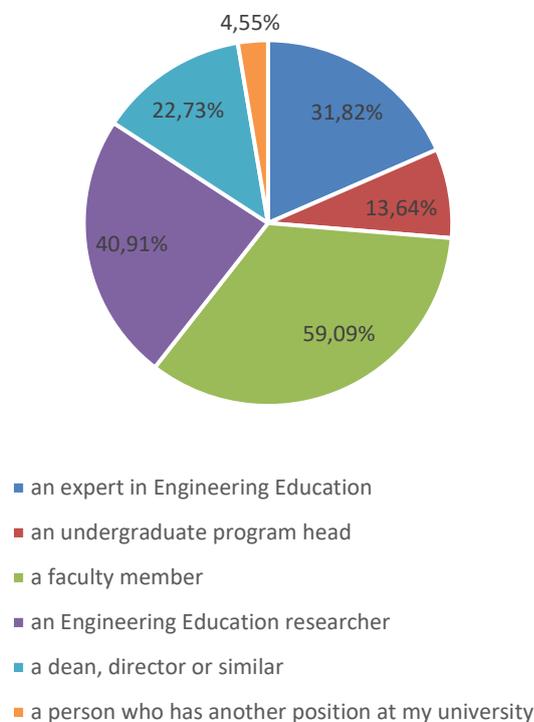


Fonte: O autor.

*Eu sou uma pessoa com outra função na minha universidade.*

Com base nas respostas dos participantes em seu papel nas universidades, considerou-se o seguinte: um especialista domina o conhecimento sobre Educação em Engenharia, enquanto um coordenador tem domínio sobre um conjunto de metodologias, ferramentas e processos. Portanto, pesos (Tabela 2) foram atribuídos a cada um dos papéis, para a definição de notas, quando as questões da pesquisa perguntaram sobre o grau de importância em algumas características da *Smart Education*, Tecnologias Educacionais e Educação em Engenharia.

Figura 29. Distribuição dos participantes da pesquisa por ocupação.



Fonte: O autor.

Tabela 2 – Pesos por ocupação dos participantes.

Ocupação	Peso
<i>Especialista em Educação em Engenharia</i>	1,3
<i>Pesquisador de Educação em Engenharia</i>	1,2
<i>Coordenador de Curso</i>	1,1
<i>Decano, Diretor ou similar</i>	1,0
<i>Professor</i>	0,9
<i>Pessoa com outra posição na universidade</i>	0,8

Fonte: O autor.

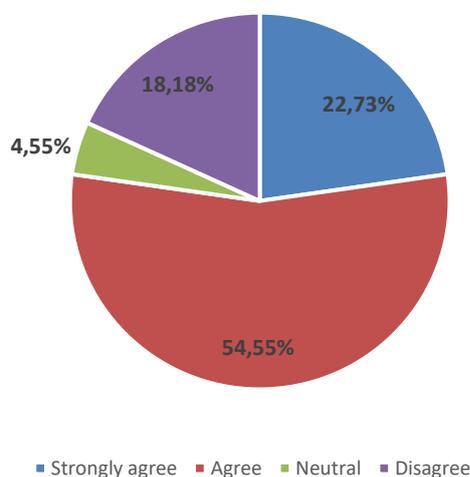
Assim, considerou-se que a opinião de um especialista em Educação em Engenharia tem mais peso do que a opinião de um coordenador de curso e assim por diante. As notas foram para determinar os **requisitos funcionais** com importância elevada para construção do artefato desta tese. O mesmo padrão de pesos foi aplicado para determinar as **premissas** de maior importância, bem como escolher os **requisitos não-funcionais** para o artefato.

Continuando com a pesquisa, as duas seções seguintes foram chamadas de: “Parte 1 – Tecnologias Educacionais e *Smart Education* como suporte à Educação em Engenharia” e “Parte 2 – Projetando um modelo conceitual par formulação de diretrizes estratégicas para a concepção de cursos de engenharia”. Os itens avaliados em cada uma das partes e suas seções são aqueles considerados como características importantes para a *Smart Education*, Tecnologias Educacionais e Educação em Engenharia, segundo a revisão da literatura. Dessa forma, na Parte 1, os requisitos funcionais para o artefato foram avaliados. Já na Parte 2, as premissas e requisitos não-funcionais.

A Parte 1 iniciou com um contexto para a pesquisa e perguntando sobre a concordância com a seguinte questão: “A Educação em Engenharia é suportada por Tecnologias Educacionais e a *Smart Education*?” Esta questão serviu para validar a consideração sobre os achados na revisão da literatura, especificamente sobre a Figura 18 (Ponte da Educação em Engenharia). Os resultados da Figura 30 sugerem que a revisão da literatura foi validada, pois a soma de “fortemente concordo” com “concordo” resultam em 77,28% dos respondentes.

Considerando a Ponte da Educação em Engenharia, a Parte 1 foi subdividida em três seções com suas respectivas questões: *Smart Education*, Tecnologias Educacionais e Educação em Engenharia.

Figura 30. “A Educação em Engenharia é suportada por Tecnologias Educacionais e *Smart Education*.”



Fonte: O autor.

A seção de *Smart Education* perguntou sobre a concordância com três sentenças:

- A *Smart Education* é uma evolução do *e-Learning* (Figura 31a).
- O *e-Learning* tradicional transmite o conhecimento, mas não coloca o estudante para aplicar o conhecimento em situações reais (Figura 31b).
- A *Smart Education* combina modernas Tecnologias Educacionais com Pedagogia Inteligente, ou seja, com metodologias baseadas em aprendizagem ativa, colocando o estudante em problemas e desafios reais de engenharia (Figura 31c).

Para as três sentenças, há a sugestão de que elas são verdadeiras, uma vez que a somatória de “fortemente concordo” e “concordo” são a maioria dos respondentes.

Na sequência, a pesquisa conduziu questões para a definição dos requisitos funcionais para o artefato, considerando características encontradas na revisão da literatura para a *Smart Education*, as Tecnologias Educacionais e a Educação em Engenharia.

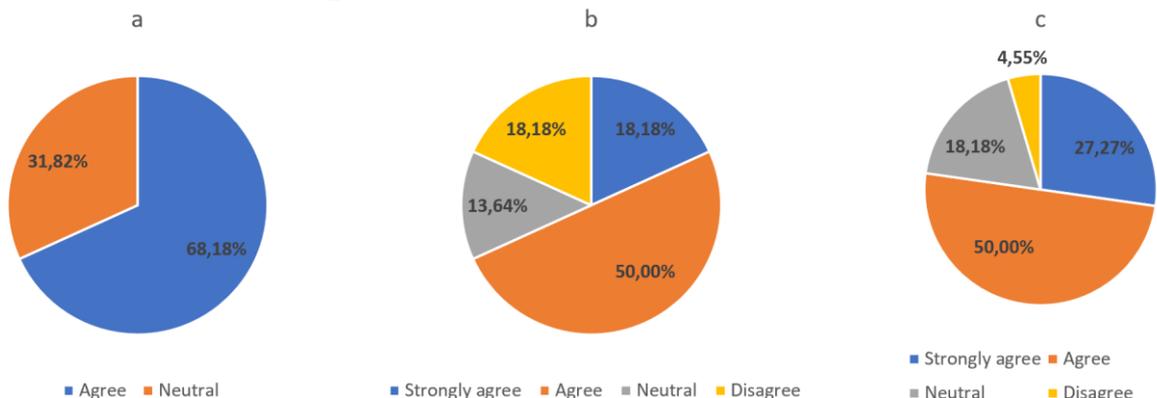
### 5.1.2 Requisitos funcionais para o artefato

Requisitos funcionais são aqueles que o modelo deverá fazer. Eles incluem formas de aliviar as dores do problema. Para a definição de requisitos funcionais, a Parte 1 contém questões referentes a algumas características na seção *Smart Education*.

A seguinte pergunta foi formulada: “Considerando a *Smart Education*, o quão importante são os itens abaixo:

- Tecnologias Educacionais Modernas (Simulação, realidade aumentada e mista, laboratórios virtuais e remotos, salas de aula inteligentes etc.)?*
- Metodologias baseadas em aprendizagem ativa (PjBL, PBL, CBL, estudos de casos etc.)?*

Figura 31. Sentenças sobre *Smart Education*.

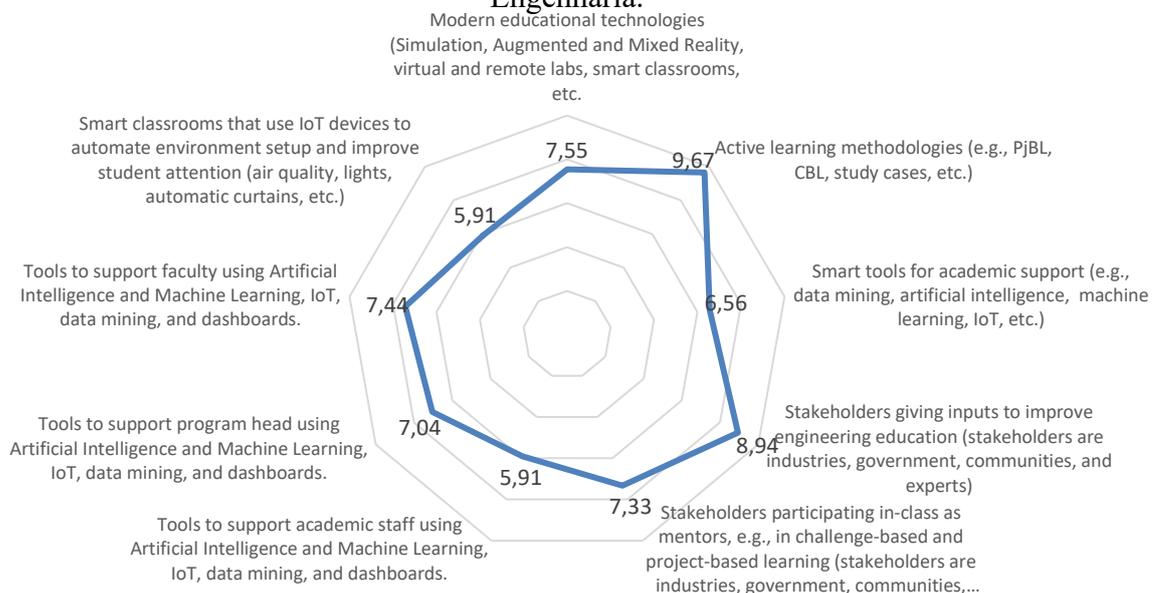


Fonte: O autor.

- *Ferramentas inteligentes para suporte acadêmico (mineração de dados, inteligência artificial, aprendizado de máquina, IoT etc.)?*
- *Stakeholders participando da melhoria da educação em engenharia?*
- *Stakeholders participando das aulas como mentores em aprendizagem baseada em desafios e/ou em projetos?*
- *Ferramentas que usam IA, aprendizado de máquina, IoT, mineração de dados e dashboards para apoiar os funcionários de uma escola de engenharia?*
- *Ferramentas que usam IA, aprendizado de máquina, IoT, mineração de dados e dashboards para apoiar o coordenador de curso?*
- *Ferramentas que usam IA, aprendizado de máquina, IoT, mineração de dados e dashboards para apoiar os professores?*
- *Salas de aula inteligentes que usam dispositivos IoT para automatizar o setup do ambiente de aprendizagem e melhorar a atenção do estudante (qualidade do ar, luzes, cortinas automatizadas etc.)?*

Os resultados estão ilustrados na Figura 32. Considerando uma nota de corte igual a 7,0 pontos, os itens acima deste valor são aqueles considerados como requisitos prioritários para a construção do artefato. Apesar da revisão da literatura mostrar que algumas características são importantes, os entrevistados não demonstraram priorizaram o uso de IoT em salas de aula para manter a atenção do estudante, ferramentas para suporte acadêmico e suporte a funcionários acadêmicos como requisitos.

Figura 32. Grau de importância de características da *Smart Education* para a Educação em Engenharia.



Fonte: O autor.

Ainda na seção da *Smart Education*, a pesquisa considerou a formação de competências como características. Assim, a seguinte questão foi colocada: “*Considerando a Smart Education para desenvolver competências para a transformação digital, o quão importante são os itens abaixo:*”

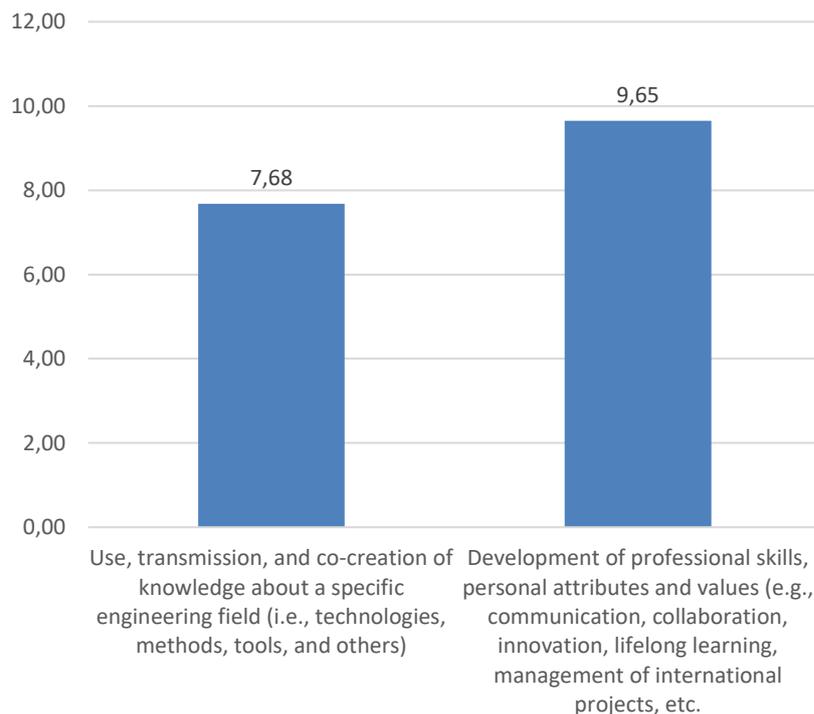
- *O uso, a transmissão e a co-criação do conhecimento sobre um campo específico da engenharia (tecnologias, métodos, ferramentas etc.)?*
- *Desenvolvimento de habilidades profissionais, atitudes e valores pessoais (comunicação, colaboração, inovação, aprendizado para toda a vida, gestão de projetos internacionais etc.)?”*

As duas características referentes a formação de competências foram consideradas importantíssimas, sendo que a segunda, escolha unânime dos entrevistados. Portanto, essas duas características entram como requisitos obrigatórios para o artefato. Os resultados estão na Figura 33.

Partindo para a seção de Tecnologias Educacionais na Parte 1 da pesquisa, a seguinte questão foi colocada: “*Considerando as Tecnologias Educacionais para a Educação em Engenharia, o quão importante são os itens abaixo:*”

- *Aprendizado de máquina para suporte acadêmico?*

Figura 33. Grau de importância de características da *Smart Education* sobre a formação de competências para a Transformação Digital.



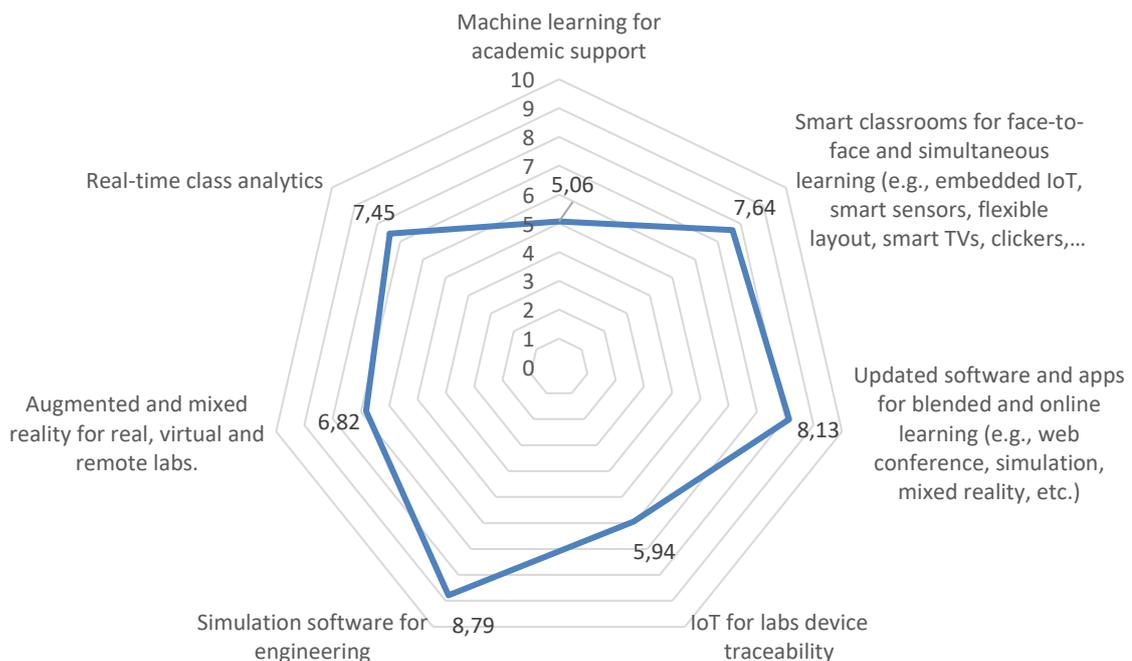
Fonte: O autor.

- *Salas de aulas inteligente para o ensino presencial e simultâneo (com IoT embarcado, sensores inteligentes, leiaute flexível, Smart TVs, clickers, webcams, aprendizagem baseada em tecnologia etc.)?*
- *Softwares atualizados e aplicativos para o ensino online e híbrido (web conferência, simulação, realidade aumentada e mista etc.)?*
- *IoT para rastreabilidade de equipamentos de laboratórios?*
- *Software de simulação para engenharia?*
- *Realidade aumentada e mista para laboratórios físicos, virtuais e remotos?*
- *Análise de dados em tempo real?*

Os resultados estão ilustrados na Figura 34. Considerando a nota de corte, somente os itens com valor superior a 7,0 pontos foram considerados como prioritários para os requisitos do artefato. Novamente IoT ficou de fora, mas neste caso para a rastreabilidade de equipamentos de laboratórios. Interessante notar que o aprendizado de máquina, importante na revisão da literatura para apoio ao estudante, também não foi considerado importante para o artefato. Também com pequena importância ficou o uso de realidade mista e aumentada para laboratórios presenciais, virtuais e remotos.

A última seção da Parte 1 da pesquisa, possui características acerca da Educação em Engenharia. A pergunta para estas características é: “*Considerando que novos estudantes*

Figura 34. Grau de importância de características de Tecnologias Educacionais para a Educação em Engenharia.



Fonte: O autor.

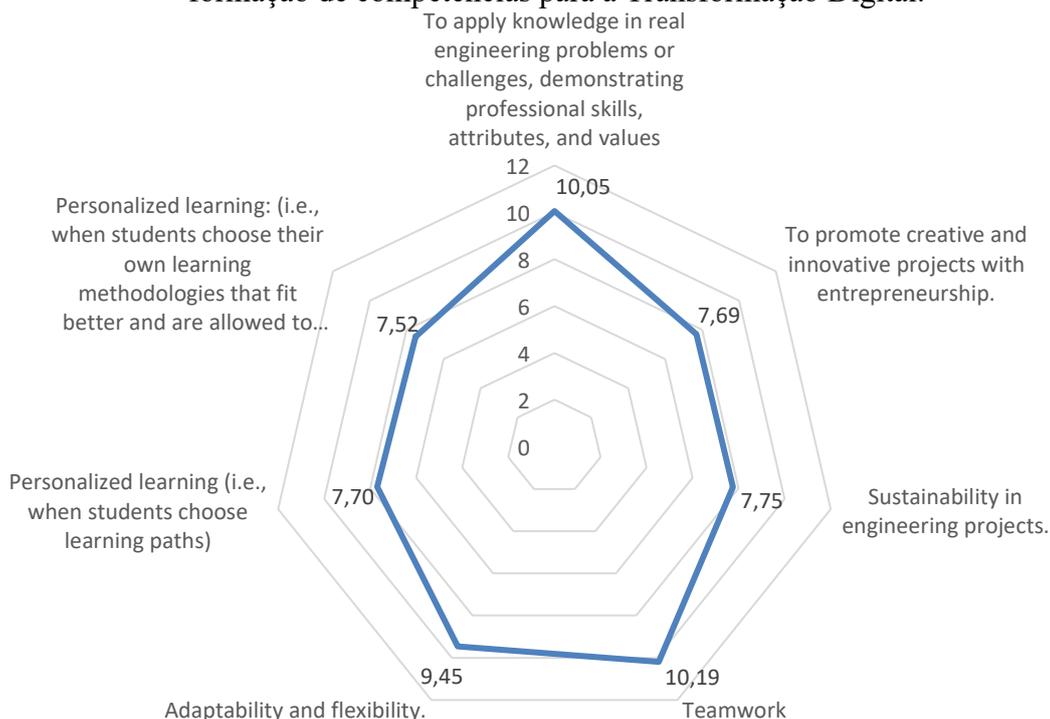
precisam desenvolver competências para a Transformação Digital em quaisquer campos da engenharia, o quão importante são os itens abaixo:

- *Aplicação do conhecimento em problemas ou desafios reais de engenharia, demonstrando habilidades profissionais, atitudes e valores pessoais?*
- *Projetos criativos e inovadores com empreendedorismo?*
- *Sustentabilidade em projetos de engenharia?*
- *Trabalho em times?*
- *Adaptabilidade e flexibilidade?*
- *Ensino personalizado (quando os estudantes escolhem trilhas de aprendizagem)?*
- *Ensino personalizado (quando o estudante escolhe as metodologias que melhor se adequam a ele e quando é permitido estudar no próprio ritmo)?”*

Conforme pode ser visto na Figura 35, todas as características da Educação em Engenharia foram consideradas importantes para a formação de competências para a Transformação Digital. Portanto, o artefato deve as considerar como requisitos.

Seguindo com a Parte 2 do formulário, ele foi dividido em duas seções: a de premissas para o artefato e a parte de requisitos não-funcionais.

Figura 35. Grau de importância de características da Educação em Engenharia sobre a formação de competências para a Transformação Digital.



Fonte: O autor.

### 5.1.3 Premissas para o Artefato

Como premissas, a pesquisa considerou os documentos balizadores vindos da Sociedade Civil Organizada, como modelos de competências e critérios de acreditação. Também se considerou resoluções e leis acerca da Educação em Engenharia, bem como procedimentos e as resoluções internas. Ainda, a infraestrutura atual foi avaliada como premissa. Ela inclui os espaços de aprendizagem existentes e ferramentas de gestão acadêmica. Por último, os recursos humanos existentes também são premissas. Eles incluem o corpo docente e outros trabalhadores envolvidos com a Educação em Engenharia.

Sendo assim, a seguinte questão foi colocada na pesquisa: *“Quais são as premissas a serem consideradas para se conceber ou atualizar um programa de graduação em engenharia:*

- *Modelo Pirâmide de Competências (definidos na Carrer One Stop, organização dos EUA)?*
- *Modelo de competências propostos pelas Associações de Engenharia?*
- *Resoluções de conselhos de engenharia?*
- *Critérios de acreditação (ex.: EAC ABET)?*
- *Leis que afetam a Educação em Engenharia?*
- *Resoluções internas?*
- *Procedimentos internos?*
- *Ambientes de aprendizagem existentes?*
- *Ferramentas de gestão existentes?*
- *Funcionários existentes?*
- *Professores existentes?”*

Como pode ser visto na Figura 36, apenas as resoluções de conselhos de engenharia, leis e o corpo docente existe foram considerados como importantes para o artefato, mantendo a nota de corte em 7,0 pontos. As leis que impactam a Educação em Engenharia englobam quaisquer tipos de regulamentações existentes. Apesar de que as DCNs se assemelham em muitos pontos com critérios de acreditação, estes foram considerados pouco importantes. Os entrevistados mostraram-se preocupados com as resoluções dos conselhos de engenharia, pois elas é que regulam o exercício da profissão. Ainda, o corpo docente atual das IES é considerado como característica de maior importância dentro das premissas, segundo a amostra entrevistada.

Em seguida, a pesquisa partiu para os requisitos não-funcionais.

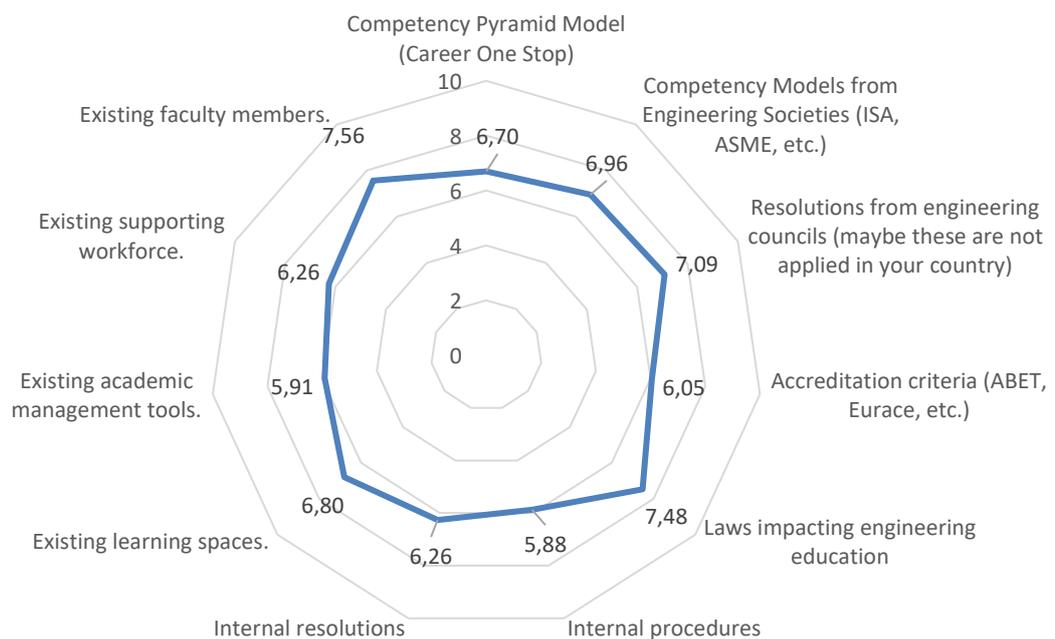
### 5.1.4 Requisitos Não-Funcionais

Os requisitos não-funcionais não fazem parte o objetivo do artefato, mas são características desejáveis que deve conter. Para o projeto do artefato, os requisitos não-funcionais determinam objetivos adicionais. Os requisitos não-funcionais são distribuídos em estruturais, de uso, de gestão e relativos ao meio.

Os *requisitos estruturais* englobam coerência, consistência, modularidade e concisão. A **coerência** é forte quando as partes do artefato estão logicamente, ordenadamente e consistentemente relacionadas. A **consistência** revela que o artefato está livre de conflitos. A **modularidade** é evidente quando os componentes do artefato podem ser facilmente substituídos ou recombinaados. Por fim, a **concisão** em um artefato significa que ele não tem partes redundantes e as funções podem ser derivadas de outros componentes. Este requisito está alinhado a proposta do *Lightweight CommonKADS*. Os entrevistados foram convidados a responder sobre essas 4 características. Os resultados na Figura 37 mostram que apenas a concisão tem pouca importância, enquanto coerência, consistência e modularidade são importantes.

Os *requisitos de uso* são distribuídos em usabilidade, compreensibilidade, capacidade de aprendizagem, personalização, aptidão, acessibilidade, elegância, agradabilidade e rastreabilidade. A **usabilidade** de um artefato se dá pela facilidade que um usuário tem para se

Figura 36. Premissas importantes para o artefato.

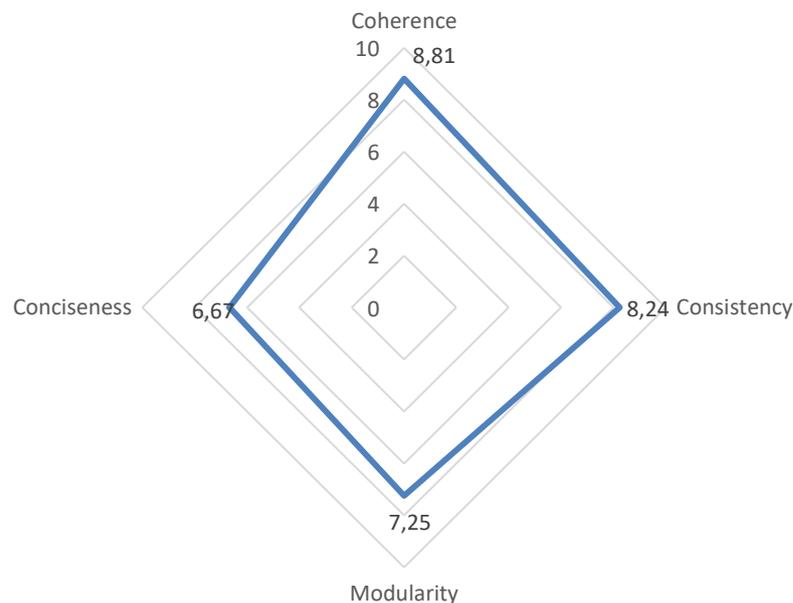


Fonte: O autor.

atingir um objetivo. Já a **compreensibilidade** é a facilidade que o usuário tem para entender como funciona o artefato. A **capacidade de aprender** é quando o usuário sabe como usar o artefato. A **personalização** de um artefato existe se é possível ajustá-lo as necessidades de uma prática ou de um usuário. A **aptidão** é dada pela precisão que um modelo atinge quando adaptado a uma prática específica. Há **acessibilidade** quando o artefato está disponível para todos os usuários que necessitam dele. A **elegância** será um requisito, se necessário, que se refere a aparência do artefato. Contudo, a **agradabilidade** é um requisito para tornar o uso amigável. Por fim, a **rastreabilidade** é um requisito demandado para armazenar a forma de uso e possível análise de melhorias no processo do uso. Quando perguntados sobre essas características, os entrevistados geraram os resultados da Figura 38. Com pouca importância, ficaram os requisitos de aptidão, elegância e agradabilidade. Os demais foram classificados como importantes para os requisitos do artefato.

Já os *requisitos de gestão* são decompostos em manutenção, flexibilidade e auditoria. A **manutenção** é demandada para corrigir erros, adicionar ou retirar requisitos, torná-la fácil ou lidar com mudanças organizacionais. A **flexibilidade** é requerida quando há alterações externas que afetam o artefato, portanto ele deve ser configurável, de maneira a permitir sua volatilidade ou expansibilidade. Por fim, a **auditoria** é necessária para a responsabilização de um agente no artefato. Esses três requisitos também foram avaliados pelos entrevistados e todos foram classificados como importantes (Figura 39Fonte: O autor.). Portanto, serão considerados no projeto do artefato.

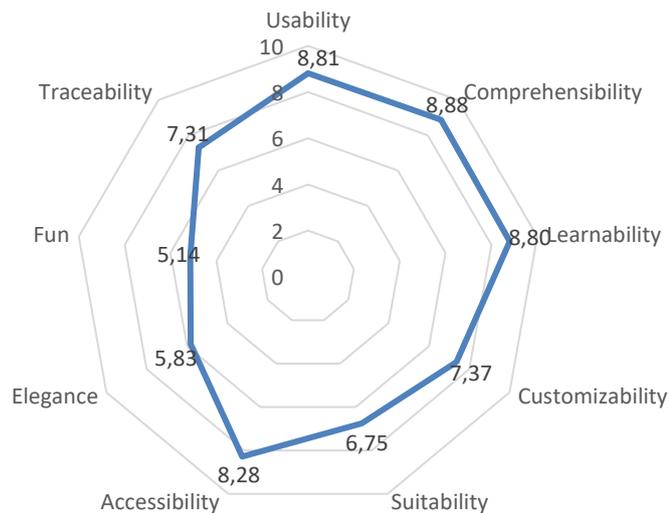
Figura 37. Requisitos não-funcionais estruturais para o artefato.



Fonte: O autor.

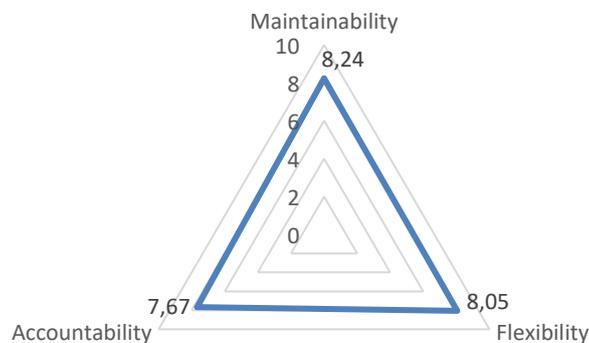
A última classificação de requisitos para o projeto de artefatos se refere ao meio. Os requisitos relativos ao meio são divididos em representatividade, precisão, generalidade, interoperabilidade, autonomia, proximidade, completude, efetividade, eficiência, robustez e resiliência. A **representatividade** significa um requisito de um artefato que é capaz de representar as entidades de interesse em um domínio. A **precisão** é dada quando o artefato representa o domínio a que ele pertence. A **generalidade** é atribuída quando o artefato pode ser aproveitado em outras aplicações. No caso da Educação em Engenharia, a todos os cursos oferecidos na escola de engenharia, mas também fora dela. Por que não na instituição de ensino superior como um todo e até mesmo para outras universidades? A **interoperabilidade** existe quando o artefato consegue trabalhar com outros artefatos, trocando dados. Portanto, o artefato deve promover o uso de arquiteturas abertas, compatibilidade e alinhamento com normas. A

Figura 38. Requisitos não-funcionais de uso para o artefato.



Fonte: O autor.

Figura 39. Requisitos não-funcionais de gestão para o artefato.



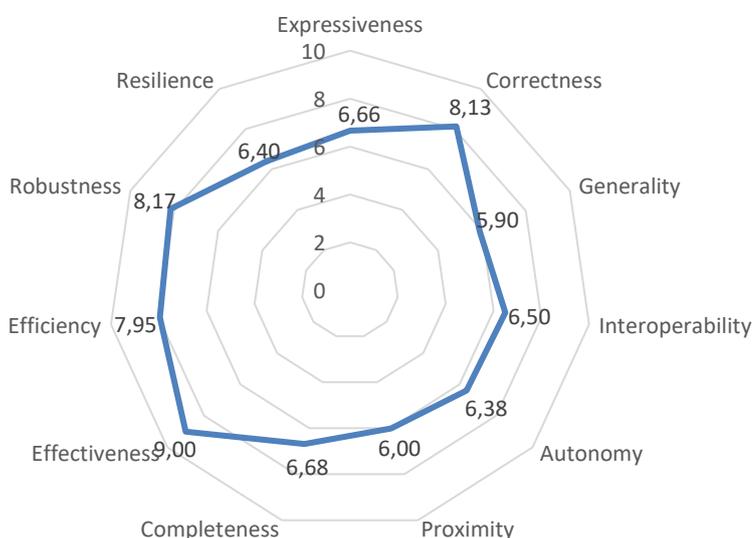
Fonte: O autor.

**efetividade** está presente se ele atinge seus objetivos. Por outro lado, a **eficiência** de um artefato representa a sua capacidade de usar apenas o tempo essencial, bem como esforço e recursos. Um artefato é **robusto** quando ele é capaz de suportar mudanças no ambiente sem ter que alterar a sua construção. Isso é diferente da flexibilidade, que está relacionada às mudanças externas. Por fim, um artefato possui **resiliência** quando é capaz de enfrentar mudanças maiores no ambiente. No caso da Educação em Engenharia, seria a capacidade do artefato suportar uma troca de Diretrizes Curriculares Nacionais. Os respondentes da pesquisa consideraram apenas quatro requisitos como importantes para o artefato: precisão, efetividade, eficiência e robustez. Os demais foram classificados com pouca importância (Figura 40).

O recorte do mapa conceitual da Figura 41 (CONTELL; DÍAZ; VENABLE, 2017) contém os elementos específicos aos requisitos do artefato e o seu projeto. Percebe-se a presença dos requisitos funcionais e não-funcionais, que foram classificados pelos entrevistados. Quanto ao projeto do artefato, a figura mostra a *descrição*, as *plataformas tecnológicas*, novamente os *requisitos* e os *componentes* que devem fazer parte do artefato.

Com as premissas e os requisitos “em mãos”, o artefato foi projetado. A atividade de projetar um artefato aborda uma solução para um problema, atendendo aos requisitos apresentados pelos *stakeholders* (CONTELL; DÍAZ; VENABLE, 2017). Isso inclui determinar a funcionalidade e estrutura do artefato. Primeiramente, o artefato deve ser **descrito** junto a definição do seu objetivo. Também deve conter as **plataformas tecnológicas** necessárias e quais **requisitos** atenderá. Eventualmente, para um protótipo de artefato inicial, nem todos os requisitos podem ser atendidos de imediato. Isso se relaciona a um dos requisitos não-

Figura 40. Requisitos não-funcionais relativos ao meio para o artefato.



Fonte: O autor.

funcionais, o de expansibilidade. Adicionalmente, os **componentes** que fazem parte da proposta de artefato também precisam ser retratados.

Com relação às plataformas tecnológicas para o projeto do artefato (Modelo Conceitual), o aplicativo Diagrams.net (antigo Draw.io) foi escolhido para modelar os UML, diagramas de classe, as inferências, os métodos de tarefa e os modelos de comunicação, de acordo com o *Lightweight CommonKADS*.

Entretanto, deve-se considerar que o artefato poderá ter usuários leigos em relação às ferramentas e metodologias da Engenharia do Conhecimento, como o *CommonKADS*. Sendo assim, **o modelo conceitual foi implementado como um protótipo funcional, ou artefato tecnológico, para a análise de sua viabilidade.**

Para uma interface com os *stakeholders*, ou seja, executar a comunicação do Modelo Conceitual, o SharePoint da plataforma Microsoft 365 foi proposto. O SharePoint é uma ferramenta computacional que precisa ser tratada como algo além de um repositório de arquivos. Ele tem sido usado pelas organizações para a Gestão do Conhecimento. Portanto, o Modelo Conceitual desta proposta de tese foi implementado em um *site* no SharePoint, projetado com auxílio do *CommonKADS*, de forma a permitir a Gestão do Conhecimento na concepção e atualização de cursos de engenharia, no contexto da Transformação Digital.

Figura 41. Recorte do mapa conceitual para projeto de artefato seguindo a DSR e o *DSc scaffolding*.



Fonte: Adaptado de (CONTELL; DÍAZ; VENABLE, 2017).  
Disponível em: <https://www.mindmeister.com/1958963615>

## 5.2 FASE 7 – DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

A partir da proposta de projeto do artefato, ele deve ser desenvolvido. Esta fase se refere à construção do artefato, ou seja, do **modelo conceitual para formulação de diretrizes estratégicas na concepção e atualização de cursos de engenharia**. Para tanto, será o momento de aplicar os procedimentos especificados na etapa de projeto, utilizando as plataformas tecnológicas. É nesta fase que será gerado o conhecimento para ser aplicado em busca da solução para o problema de pesquisa, buscando a melhoria da Educação em Engenharia e abrindo caminho para a proposição de novos artefatos.

### 5.2.1 Modelo Conceitual

Considerando a metodologia do *Lightweight CommonKADS* para desenvolver o Modelo Conceitual, há a necessidade de especificar os aspectos organizacionais, os ativos de conhecimento, os processos de negócio, as partes interessadas e a troca de informações.

#### 5.2.1.1 Aspectos Organizacionais

O primeiro passo é descrever os aspectos da organização, conforme a planilha OM-2. Para o Modelo Conceitual, sugere-se a estrutura de um curso de graduação em Engenharia. Para este curso, a planilha da Tabela 3 apresenta os aspectos organizacionais.

A *Estrutura Organizacional* de um curso de engenharia considera uma estrutura mínima, contendo o coordenador de curso, o Núcleo Docente Estruturante (NDE), o Colegiado, o Professor, a Secretaria e o Técnico de Laboratório (Figura 42). Ainda que mínima para o Modelo Conceitual, a Secretaria e o Técnico não participam das atividades de concepção e atualização de cursos de engenharia. Isso é uma tarefa do coordenador, do NDE e do Colegiado do Curso, conforme pode ser visto no *processo* da Figura 43. O coordenador inicia o processo de concepção ou atualização de um curso de engenharia. Esta pode ser um pedido da IES, a alteração de uma regulamentação ou por necessidade da Sociedade. O NDE então faz as análises e define diretrizes estratégicas sob o domínio do curso de graduação em engenharia. Como sugestão, a definição do perfil do egresso e das suas competências é passo fundamental

para a atualização ou concepção de um curso de engenharia. O NDE envia as diretrizes ao coordenador, que por sua vez convoca o Colegiado para apreciação, considerações e aprovação.

As *peessoas* são consideradas os stakeholders internos e externos para a concepção e atualização de cursos de engenharia. Nesta proposta de tese, ainda há as pessoas que lidam diretamente com a formulação de diretrizes: coordenador, NDE e Colegiado. Outras pessoas

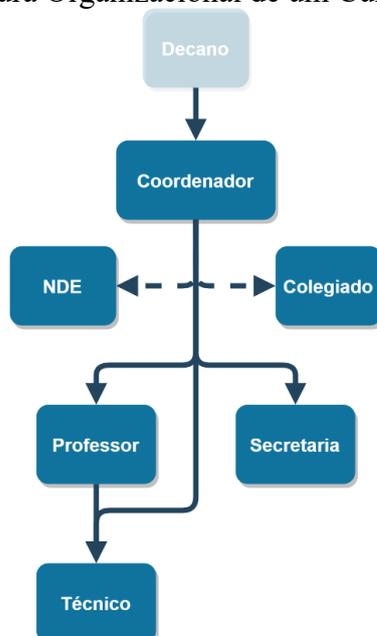
Tabela 3 – Planilha OM-2: aspectos organizacionais.

<b>Modelo Organizacional</b>	<b>Planilha de aspectos variantes OM-2</b>
<i>Estrutura Organizacional</i>	Ver Figura 42 "OM-2 Estrutura", representando a estrutura do curso de graduação em engenharia.
<i>Processo</i>	Ver Figura 43 "OM-2 Processo". O processo definido é para a concepção ou atualização de curso de engenharia.
<i>Pessoas</i>	Coordenador, Professores (NDE e Colegiado), Funcionários, Estudantes, Equipe de Acreditação, Sociedade e Indústria
<i>Recursos</i>	<p><b>De apoio à gestão acadêmica:</b> Sistema para Gestão de Matrículas, sistema para Gestão de CH Docente, Sistema de Gestão de Contratos de Parcerias, Microsoft 365, <i>Smart Learning Analytics</i> (Power BI).</p> <p><b>De suporte à Educação em Engenharia:</b> Sistema para Gestão de Ambientes Flexíveis de Aprendizagem, Sistema para Gestão de Licenças de Software, Sistema para Gestão de Material de Consumo, Ambiente Virtual de Aprendizagem.</p>
<i>Conhecimento</i>	<p><b>Smart Learning Analytics:</b> Lançamento de notas e frequência, conhecimento sobre o rendimento acadêmico.</p> <p><b>Desenvolvimento de competências:</b> Planejamento e organização de atividades, metodologias baseadas em aprendizagem ativa, transmissão do conhecimento específico de engenharia, uso de ferramentas computacionais colaborativas, aplicação do conhecimento de engenharia em situações-problema, desenvolvimento de habilidades profissionais, desenvolvimento de atitudes e valores pessoais etc.</p> <p><b>Regulamentação de Engenharia:</b> DCNs, regimento geral, resoluções de conselhos de classe, resoluções internas etc. Carga Horária Mínima para cursos de Engenharia.</p> <p><b>Sociedade e Indústria:</b> Relatórios de organizações que buscam promover o desenvolvimento estratégico (ex.: OECD, McKinsey, BCG, Deloitte, Accenture, KPMG etc.) Acompanhamento de carreira dos egressos e <i>feedback</i> da formação para a engenharia. <i>Industry Advisory Boards</i>, Sociedade Civil Organizada (ex.: conselhos e associações de classe).</p>
<i>Cultura e Responsabilidades</i>	<p>Formar estudantes por competências (Formal: professor-estudante-Sociedade; Informal: professor-estudante, estudante-estudante, estudante-Sociedade).</p> <p>Adequar o PPC as DCNs, resoluções e outros documentos balizadores (NDE). Deliberar sobre o PPC (Colegiado). Elaboração e atualização do PPC (coordenador e NDE).</p> <p>Planejamento e condução de atividades (professores). Estudar (estudantes).</p> <p>Formação Docente (professores-Centro de Ensino-Aprendizagem da IES)</p> <p>Planejamento de atividades acadêmicas com a colaboração de coordenação e professores.</p> <p>Processos de melhoria contínua, seguindo procedimentos de acreditação (coordenador, NDE e professores).</p> <p>Identificar parcerias com o setor produtivo (coordenador e professores).</p>

Fonte: Adaptado de (SCHREIBER et al., 1999).

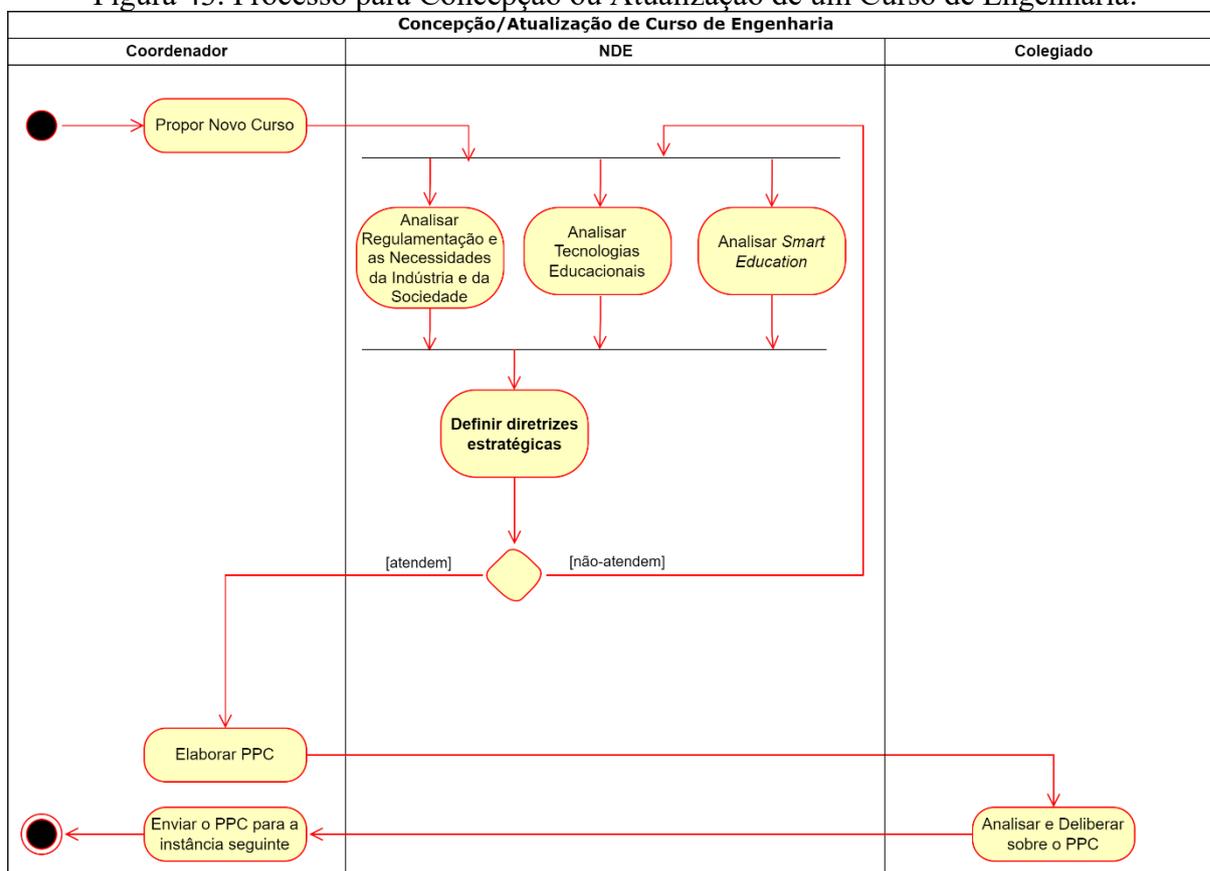
são os funcionários, uma equipe de acreditação e representantes da Sociedade. E não menos importante, os estudantes. **Entretanto, se tratando de um modelo conceitual, a sua adaptação pode ser feita de acordo com as necessidades em uma IES.**

Figura 42. Estrutura Organizacional de um Curso de Engenharia.



Fonte: O autor.

Figura 43. Processo para Concepção ou Atualização de um Curso de Engenharia.



Fonte: O autor.

Como *recursos*, são citados os de apoio à gestão acadêmica e os de suporte à Educação em Engenharia. Para os primeiros, aparecem os sistemas de gestão de matrículas, gestão de carga horária docente, *Smart Learning Analytics*, dentre outros. Já para a Educação em Engenharia, o Ambiente Virtual de Aprendizagem é um exemplo.

Sobre o *conhecimento*, ele foi dividido em *Smart Learning Analytics*, desde que o sistema computacional realmente seja inteligente, ou seja, construído com capacidades de aprendizado de máquina e inteligência artificial para prestar suporte ao estudante, ao professor e a coordenação de curso. Isto é, consiga extrair conhecimento sobre o rendimento acadêmico dos estudantes e propor caminhos para a melhoria dos resultados de aprendizagem. Ainda, a formação de competências é considerada requisito para enfrentar as oportunidades e desafios da Transformação Digital. O *desenvolvimento de competências* é considerado conhecimento sob domínio do corpo docente. Ainda há o conhecimento sobre a *regulamentação para a engenharia*. DCNs, carga horária mínima para cursos de engenharia e outras regulamentações fazem parte do domínio do coordenador de curso e do NDE. Por fim, o conhecimento sobre a *Sociedade e Indústria* é composto pelos relatórios produzidos por instituições renomadas de consultoria e pesquisa, mas também pelo acompanhamento da carreira de egressos e o seu *feedback* sobre a formação para a vida profissional de engenharia. E ainda, pela memória dos encontros com o *Industry Advisory Board* e conselhos e associações de classe.

Finalmente, a *cultura e responsabilidades* na tabela descrevem as atividades das pessoas, ou stakeholders. Basicamente, coordenador e membros do NDE fazem a adequação e atualização do Projeto Pedagógico de Curso (PPC), e o Colegiado irá deliberar sobre as atualizações no PPC. Enquanto os professores precisam formar competências nos estudantes que atenderão aos anseios da Indústria e Sociedade. Há outras culturas e responsabilidades envolvidas, algumas estão citadas na Tabela 3.

#### 5.2.1.2 Aspectos Organizacionais: ativos de conhecimento

Em seguida, a planilha OM-4 do CommonKADS necessita ser preenchida (Tabela 4). Considerando a sugestão de um curso de engenharia, *ativos de conhecimento* podem ser considerados aqueles que emergem da análise da Regulamentação, das Tecnologias Educacionais e da *Smart Education* para a Educação em Engenharia. Por exemplo, as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. Com exceção à Regulamentação, a análise SWOT feita na Análise Sistemática do Corpo da Literatura (item 2.1) evidencia esses ativos de conhecimento.

A formulação das diretrizes é *executada pelo* coordenador de curso e o seu NDE. A *tarefa ou situação de aplicação* é feita no âmbito da coordenação do curso. A *aplicação* é realizada de maneira correta partindo do pressuposto de que a formulação de diretrizes é realizada a partir da análise da regulamentação para a Educação em Engenharia e das necessidades da Sociedade, bem como das Tecnologias Educacionais e das melhores práticas da *Smart Education*. O ativo do conhecimento está *no local correto* se a formulação é realizada no ambiente proposto (no caso, o protótipo implementado a partir do artefato desta proposta de tese, ou seja, a partir do Modelo Conceitual).

No caso de as diretrizes serem formuladas *no tempo certo*, se deve considerar se elas se antecipam às necessidades da Indústria e da Sociedade e atendem a legislação atual. Adicionalmente, se a análise das Tecnologias Educacionais e das melhores práticas da *Smart Education* é feita dentro dos prazos determinados pela coordenação de curso. O tempo pode ser definido de acordo com a coordenação de cada curso de engenharia.

Enfim, as diretrizes são formuladas *na qualidade desejada* quando a medição de resultados de aprendizagem aponta que estes estão atingindo as metas estabelecidas por uma equipe de acreditação. Mais à frente, haverá uma inferência chamada “medir”, que completa o modelo de tarefa. Portanto, espera-se que a qualidade desejada seja medida.

Tabela 4 – Planilha OM-4: ativos de conhecimento.

<b>Modelo Organizacional</b>	<b>Planilha de Ativos de Conhecimento OM-4</b>
<i>Ativo de Conhecimento</i>	Forças, Fraquezas, Oportunidades, Ameaças (SWOT) da Regulamentação, Tecnologias Educacionais e <i>Smart Education</i> para a Educação em Engenharia.
<i>Executado por</i>	Coordenador, NDE
<i>Tarefa/Situação de Aplicação</i>	Coordenação do Curso
<i>A aplicação é realizada de maneira correta?</i> (Sim ou Não; Comentários)	Sim! Se há diretrizes formuladas a partir da análise da Regulamentação, das Tecnologias Educacionais e das melhores práticas da <i>Smart Education</i> . Não! Se o contrário.
<i>No Local Correto?</i> (Sim ou Não; Comentários)	Sim! Se o sistema para formulação de diretrizes está em uso. Não! Se o contrário.
<i>No Tempo Certo?</i> (Sim ou Não; Comentários)	Sim! Se as diretrizes se antecipam às necessidades da indústria e da Sociedade e se dentro dos prazos estabelecidos pela coordenação de curso. Não se o contrário.
<i>Na Qualidade Desejada?</i> (Sim ou Não; Comentários)	Sim! Se os resultados de aprendizagem atingem as metas de acreditação. Não! Se os resultados de aprendizagem ficam abaixo das metas de acreditação.

Fonte: Adaptado de (SCHREIBER et al., 1999).

### 5.2.1.3 Modelo de Tarefa: processos de negócio

A próxima planilha a ser preenchida é a modelo de tarefa TM-1, referente aos processos de negócio (Tabela 5). Nela, a *tarefa* recebe uma identificação. No caso hipotético de um curso de engenharia, ela se chama “Tarefa Nx – Formular diretrizes estratégicas.” A *organização* também é identificada, no caso o Curso de Engenharia, onde a tarefa é aplicada pelo coordenador e seu NDE.

Quanto ao *objetivo e valor* da tarefa, o primeiro foi definido como “Formular diretrizes estratégicas para a concepção (e atualização) de cursos de engenharia de acordo com o cenário da Transformação Digital.” Por outro lado, o valor foi descrito como: “A Sociedade contará com engenheiros competentes, ou seja, um profissional que sabe como usar o conhecimento fundamental para determinadas situações-problema, demonstrando habilidade profissionais, atitudes e valores pessoais.”

Na linha de *dependência e fluxo*, são descritas as tarefas de entrada e de saída. Para o Modelo Conceitual desta proposta de tese, uma tarefa de entrada foi definida: a análise de regulamentação afeta a Educação em Engenharia, no caso, leis, resoluções e relatórios emitidos pela Sociedade, bem como a análise de Tecnologias Educacionais e das melhores práticas da *Smart Education*. Como tarefa de saída, definiu-se apenas a formulação das diretrizes estratégicas. Desta forma, tem-se a UML da Figura 44.

Seguindo agora com os *objetos manipulados*, os de entrada são os documentos de regulamentação afeta a Engenharia, como as leis, as resoluções e os relatórios emitidos pela Sociedade civil organizada. Tem-se ainda como objetos de entrada as Tecnologias Educacionais, que precisam ser analisadas para formulação de diretrizes. O mesmo ocorre para as melhores práticas da *Smart Education*, onde a formação por competências, as metodologias de ensino, o relacionamento com o mercado e o ensino personalizado devem ser tratados como objetos de entrada para análise e então se definir diretrizes estratégicas.

Os objetos internos são considerados como a regulamentação interna da IES e do curso de graduação, bem como os procedimentos de acreditação. Já os objetos de saída resultam nas diretrizes estratégicas. A representação gráfica de objetos manipulados para o Modelo Conceitual é vista no diagrama de classes da Figura 45. Aqui, deve-se fazer uma relação com a Ponte, da Figura 18, onde a Educação em Engenharia é suportada pela *Smart Education* e pelas Tecnologias Educacionais, sendo que os dois pilares são duas classes. Contudo, há necessidade

de se adicionar uma terceira classe: a Regulamentação afeta a Educação em Engenharia, considerada de grau de importância elevado pelos entrevistados.

A classe de Regulamentação é uma composição da Educação em Engenharia, visto que um curso não pode existir sem regulamentação. Esta classe possui uma propriedade

Tabela 5 – Planilha TM-1: Processos de Negócio.

Modelo de Tarefa	Planilha de Análise de Tarefa TM-1
<i>Tarefa</i>	Tarefa Nx - Definir diretrizes estratégicas
<i>Organização</i>	Curso de Engenharia. Onde a tarefa é aplicada por coordenador e NDE
<i>Objetivo e Valor</i>	<p><b>Objetivo:</b> Formular diretrizes estratégicas para a concepção (e atualização) de cursos de engenharia de acordo com o cenário da Transformação Digital.</p> <p><b>Valor:</b> A Sociedade e a Indústria contarão com engenheiros competentes, ou seja, um profissional que sabe como usar o conhecimento fundamental para determinadas situações-problema, demonstrando habilidade profissionais, atitudes e valores pessoais.</p>
<i>Dependência e Fluxo</i>	<p><b>Tarefas de entrada:</b> Análise de Leis e Resoluções, Análise das necessidades da Sociedade e da Indústria. Análise das ferramentas da <i>Smart Education</i> para aplicação na Educação em Engenharia. Análise das tecnologias educacionais para aplicação na Educação em Engenharia.</p> <p><b>Tarefas de saída:</b> Formulação de diretrizes estratégicas, Elaboração do PPC.</p> <p>Ver diagrama de atividade na Figura 44 .</p>
<i>Objetos Manipulados</i>	<p><b>Objetos de entrada:</b> Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), Relatórios da Sociedade Civil Organizada, Relatórios de reuniões com quadros consultivos da Indústria, Relatórios de empresas de consultoria. Tecnologias Educacionais. Melhores práticas da <i>Smart Education</i> (formação por competências, metodologias de ensino, relacionamento com <i>stakeholders</i> e ensino personalizado).</p> <p><b>Objetos de saída:</b> Plano de ação.</p> <p><b>Objetos internos:</b> Resoluções e portarias institucionais, procedimentos de acreditação.</p> <p>Ver diagrama de classe na Figura 45.</p>
<i>Tempo e Controle</i>	<p>A frequência é semanal, com reuniões quinzenais do NDE.</p> <p>A duração é de <math>n</math> horas do coordenador e NDE.</p> <p><b>(i)pré-condições:</b> conhecimento sobre o estado da arte das resoluções do Ministério da Educação, e relatórios da Sociedade e Indústria;</p> <p><b>(ii)pós-condições:</b> avanços nas definições e atualização das diretrizes.</p>
<i>Agentes</i>	Coordenador, NDE, Colegiado.
<i>Conhecimento e Competência</i>	<p><b>Coordenador:</b> gestão de pessoas e recursos, planejamento acadêmico, elaboração do PPC.</p> <p><b>NDE:</b> planejamento acadêmico; educação em engenharia; metodologias baseadas em aprendizagem ativa; integração com a Sociedade e Indústria.</p> <p><b>Colegiado:</b> PPC, metodologias baseadas em aprendizagem ativa, formação por competências.</p>
<i>Recursos</i>	Power BI (Smart Learning Analytics); Microsoft 365; $x$ horas do coordenador; $y$ horas de cada membro do NDE.
<i>Qualidade e Desempenho</i>	Indicadores de desempenho definidos nos processos de melhoria (acreditação).

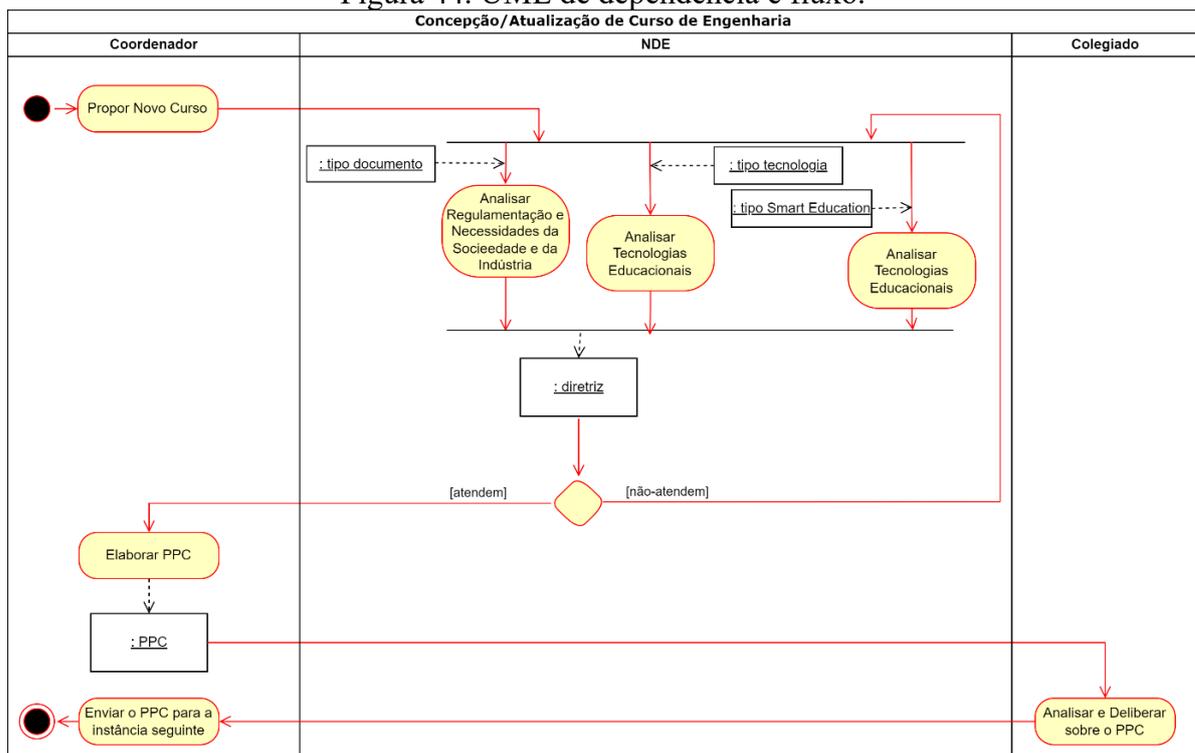
Fonte: Adaptado de (SCHREIBER et al., 1999).

chamada “tipo”, que é uma lista para escolha entre lei, resolução ou relatório. Esta classe também possui uma ação chamada Analisar(), que resulta em uma propriedade nomeada de Diretriz(). Ou seja, após a análise da regulamentação, se formula uma ou mais diretrizes.

As classes de Tecnologias Educacionais e *Smart Education* são agregações da Educação em Engenharia. Embora ambas sejam altamente recomendáveis para adoção, um curso de engenharia pode existir sem elas, mas não sem regulamentação. Na classe de Tecnologias Educacionais, há uma propriedade também chamada “Tipo”, contendo uma lista para escolha entre *Smart Classroom*, aplicativo de suporte (App\_Suporte) e aplicativo educacional (App\_Educacional). O mesmo ocorre na classe de Smart Education, contudo a lista possui os itens de escolha entre competência, metodologia de ensino, relacionamento com stakeholder e ensino personalizado. Da mesma forma que na classe de Regulamentação, as classes de Tecnologias Educacionais e Smart Education possuem a ação Analisar(), para se formular diretrizes.

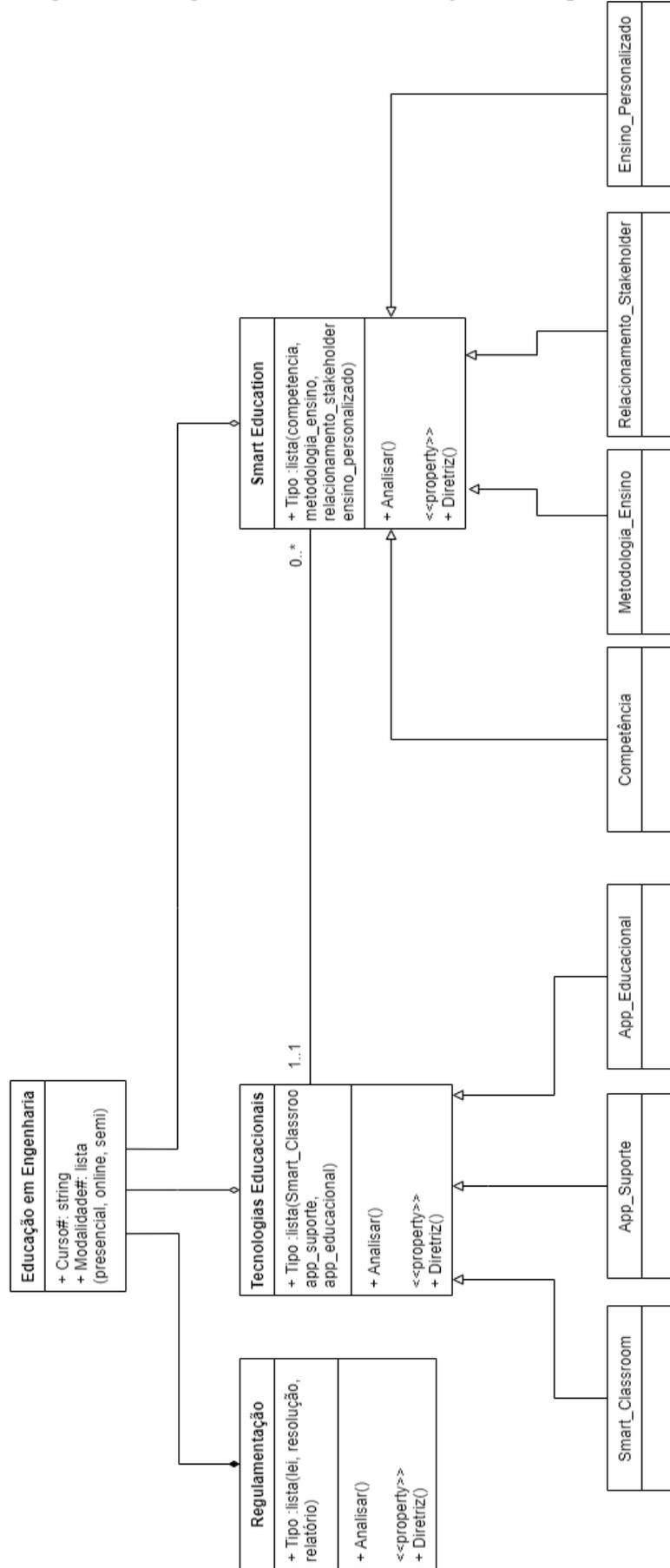
A classe de Tecnologias Educacionais é considerada generalizada e tem três subclasses especializadas: Smart\_Classroom, App\_Suporte e App\_Educacional. Por outro lado, a classe de Smart Education também é generalizada, mas com quatro subclasses especializadas: competência, metodologia\_ensino, relacionamento\_stakeholder e ensino\_personalizado.

Figura 44. UML de dependência e fluxo.



Fonte: O autor.

Figura 45. Diagrama de Classe dos objetos manipulados.



Portanto, o diagrama de classes da Figura 45 é peça importante no Modelo Conceitual de formulação de diretrizes estratégicas. Contudo, ele pode ser adaptado para as necessidades de outros cursos de engenharia.

O diagrama de classes foi usado para a organização parcial de um site no SharePoint, como proposta de artefato tecnológico para o Modelo Conceitual desta tese. Este protótipo possui a seguinte sugestão de nome: Sistema para Formulação de Diretrizes Estratégicas (SFDE).

Partindo para o *tempo e controle* da Tabela 5, há necessidade de se retornar até a Figura 44. As tarefas de entrada, ou seja, as análises demandam tempos variados para o NDE, pois a complexidade também é variável para os objetos de entrada e os internos. Contudo, as pré-condições são o conhecimento sobre o estado da arte dos objetos manipulados de entrada e os internos. As pós-condições são o esboço das diretrizes estratégicas.

Os *agentes* que participam na formalização de diretrizes são o coordenador, os membros do NDE e os membros do Colegiado. Eles são vistos no UML da Figura 44.

Consequentemente, o *conhecimento e competência* do coordenador são: gerir pessoas, gerir recursos e realizar planejamento acadêmico. Por outro lado, o NDE também realiza o planejamento acadêmico, mas analisa as ferramentas da educação em engenharia, propõe metodologias de ensino-aprendizagem, procura pela integração do curso com a Sociedade e Indústria. Por fim, o colegiado delibera sobre as propostas do NDE e do coordenador de curso e coloca em práticas as decisões.

Os *recursos* necessários são sistemas de informação, como um *Smart Learning Analytics*, ferramentas do Microsoft 365, horas do coordenador e dos membros do NDE, bem como horas do Colegiado.

Partindo do pressuposto de que as diretrizes conduzem a resultados para o curso de engenharia, pode-se dizer que *qualidade e desempenho* são os indicadores de desempenho definidos pela equipe de melhoria contínua vinculada a iniciativas de acreditação nacional e internacional. Mais à frente, será visto que qualidade e desempenho são verificados em uma inferência chamada “Medir” no método de tarefa. Esta inferência possui procedimentos de melhoria contínua em sua base de conhecimento.

Terminado o modelo de tarefa para o artefato desta tese, se segue para o modelo de agente.

#### 5.2.1.4 Modelo de Agente: partes interessadas

Na planilha AM-1 (Tabela 6), o nome dos agentes e da organização devem ser descritos. Também há a definição do envolvimento e a comunicação que exercem, bem como o conhecimento e competências de cada um. Por fim, as responsabilidades e restrições necessitam estar descritas.

Considerando a “Tarefa Nx” da Tabela 5, a tarefa é aplicada apenas pelo coordenador de curso e pelo NDE para a definição de diretrizes. Contudo, o colegiado precisa aprovar, sendo uma terceira parte interessada. Um agente diretamente impactado é o estudante. E por fim, a equipe de acreditação mede os resultados de aprendizagem (RAs) dos estudantes e emite relatório comparativo com as metas estabelecidas. Portanto, esses são os cinco agentes com

Tabela 6 – Planilha AM-1: partes interessadas.

<b>Modelo de Agente</b>	<b>Planilha de Agente AM-1</b>				
<i>Nome</i>	Coordenador	NDE	Colegiado	Estudante	Equipe de Acreditação
<i>Organização</i>	Curso de Engenharia	Curso de Engenharia	Curso de Engenharia	Curso de Engenharia	Curso de Engenharia
<i>Envolvido em</i>	Concepção/Atualização de Curso	Análise de Regulamentação, Tecnologias Educacionais, <i>Smart Education</i> e Relatórios de RAs X Metas	Diretrizes Estratégicas e RAs	Desenvolver Competências e RAs	Relatórios de RA X Metas
<i>Comunica com</i>	NDE, Equipe de Acreditação	Coordenador, SFDE, Colegiado, Equipe de Acreditação	NDE, SFDE, Estudante, Equipe de Acreditação	Colegiado	Coordenador, NDE, SFDE, Colegiado
<i>Conhecimento</i>	Planejamento acadêmico	Regulamentação, Tecnologias Educacionais, <i>Smart Education</i> e Relatórios de RAs X Metas	Formação de competências, Resultados de Aprendizagem	De engenharia que recebe	Procedimentos de melhoria contínua, RAs X Metas
<i>Outras competências</i>	Procedimentos de melhoria contínua	Metodologias de Ensino	Metodologias de Ensino	Habilidades profissionais e atitudes pessoais	Metodologias de Ensino
<i>Responsabilidades e restrições</i>	Elaboração do PPC. Orçamento limitado	Formulação de diretrizes. Legislação vigente	Formar competências nos estudantes. Ambientes de aprendizagem.	Desenvolver Competências. Cumprimento de prazos.	Emitir relatório de RAs X Metas

Fonte: Adaptado de (SCHREIBER et al., 1999)

*nomes* Coordenador, NDE, Colegiado, Estudante e Equipe de Acreditação, que estão na organização “curso de engenharia”.

O Coordenador está *envolvido em* concepção e atualização do curso, enquanto o NDE está *envolvido em* análise de Regulamentação, Tecnologias Educacionais, *Smart Education* e Relatórios de RAs comparados às metas. O Colegiado está *envolvido em* diretrizes formuladas pelo NDE e com os RAs dos estudantes. Estes, por sua vez, *envolvidos em* desenvolver competências e gerar RAs. Por fim, a Equipe de Acreditação está *envolvida em* medir os RAs para gerar relatórios comparativos com as metas.

O agente Coordenador *comunica com* o NDE e a Equipe de Acreditação. Já o NDE, *comunica com* o Coordenador, o Sistema de Formulação de Diretrizes Estratégicas (SFDE), uma equipe de acreditação e o Colegiado. O SFDE é um Sistema Baseado em Conhecimento (SBC) concebido a partir do método de tarefa, que será visto mais à frente. Continuando, o Colegiado *comunica com* o NDE, o SFDE, a equipe de acreditação e o estudante. O estudante apenas *comunica com* o Colegiado na transmissão de conhecimento. Enfim, a equipe de acreditação *comunica com* o coordenador de curso, com o NDE, o SFDE e o Colegiado. A comunicação entre os agentes para a “Tarefa Nx – Definir diretrizes estratégicas” está ilustrada na Figura 46.

O *conhecimento* do coordenador é sobre o planejamento acadêmico, enquanto do NDE sobre a Educação em Engenharia (Regulamentação, Tecnologias Educacionais, *Smart Education* e Relatórios de RAs X metas). Já o Colegiado tem *conhecimento* sobre a Formação de Competências e RAs. Por outro lado, o estudante tem o *conhecimento* que recebe em sua área de formação. Por último, a equipe de acreditação tem *conhecimento* sobre procedimentos de melhoria contínua e os relatórios de RAs e Metas.

*Outras competências* do coordenador são os procedimentos de melhoria contínua e do NDE, Colegiado e Equipe de Acreditação, as metodologias de ensino. Logo, o estudante tem *outras competências* como as habilidades profissionais e atitudes pessoais.

*As responsabilidades e restrições* do coordenador são a elaboração do PPC e o orçamento do curso, respectivamente. Já o NDE formula as diretrizes estratégicas e fica restrito a legislação vigente. Por outro lado, o Colegiado é responsável por formar competências nos estudantes de engenharia usando ambientes os de aprendizagem e os recursos disponíveis neles. O estudante deve desenvolver competências dentro dos prazos estabelecidos em calendário acadêmico e planejamento das disciplinas. Enfim, a Equipe de Acreditação emite relatório comparativo de RAs e metas.

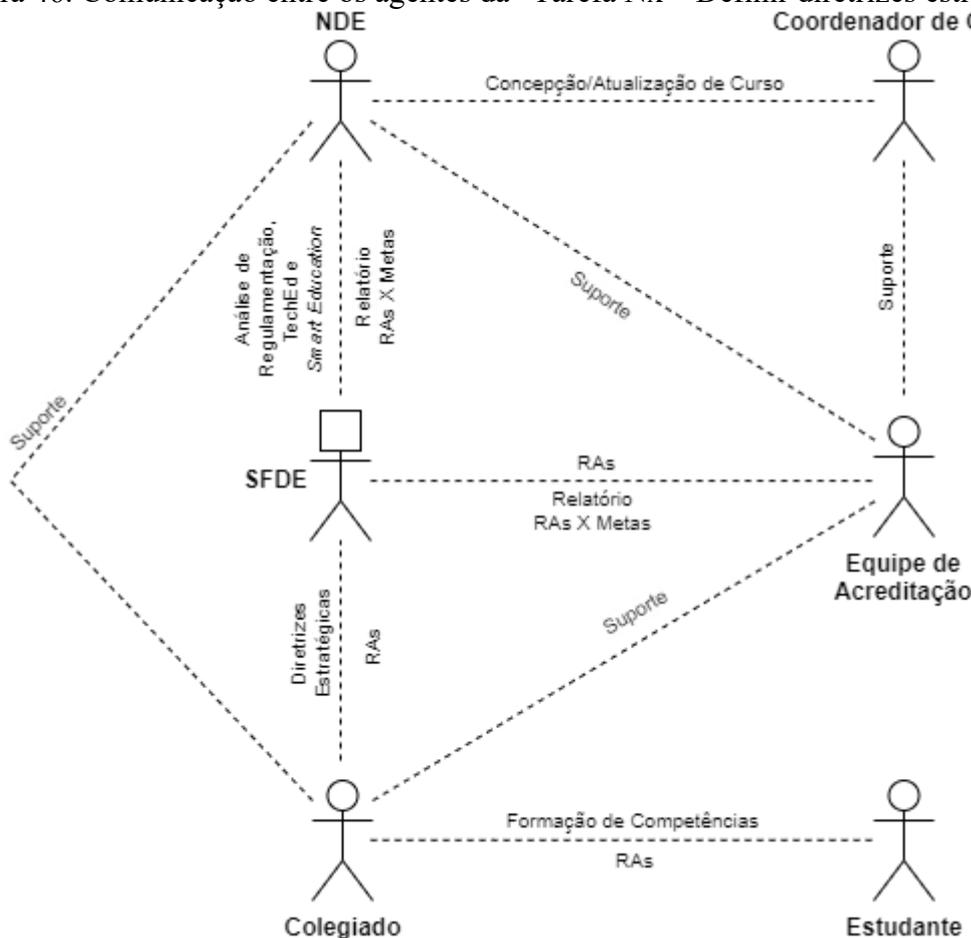
### 5.2.1.5 Inferências do Modelo Conceitual

O Modelo Conceitual para Formulação de Diretrizes Estratégicas possui 3 inferências: Analisar, Desenvolver Competências e Medir.

A inferência “Analisar” possui 3 funções de entrada dinâmica: Regulamentação, Tecnologias Educacionais e *Smart Education* (Figura 47). Isto significa que é necessário *analisar* a regulamentação afeta a engenharia, as tecnologias educacionais para a Educação em Engenharia e as melhores práticas para a *Smart Education*. Usando as ferramentas e métodos de análise do conhecimento de domínio, as Diretrizes Estratégicas são formuladas como função de saída dinâmica. Contudo, esta é a função de entrada dinâmica para a inferência “Desenvolver Competências.”

A inferência “Desenvolver Competências” é usuária da função de entrada dinâmica “Diretrizes Estratégicas”, gerando a função de saída dinâmica “Resultados de Aprendizagem” (Figura 48). Essa inferência possui 4 conhecimentos de domínio. A primeira delas é sobre

Figura 46. Comunicação entre os agentes da “Tarefa Nx – Definir diretrizes estratégicas”.



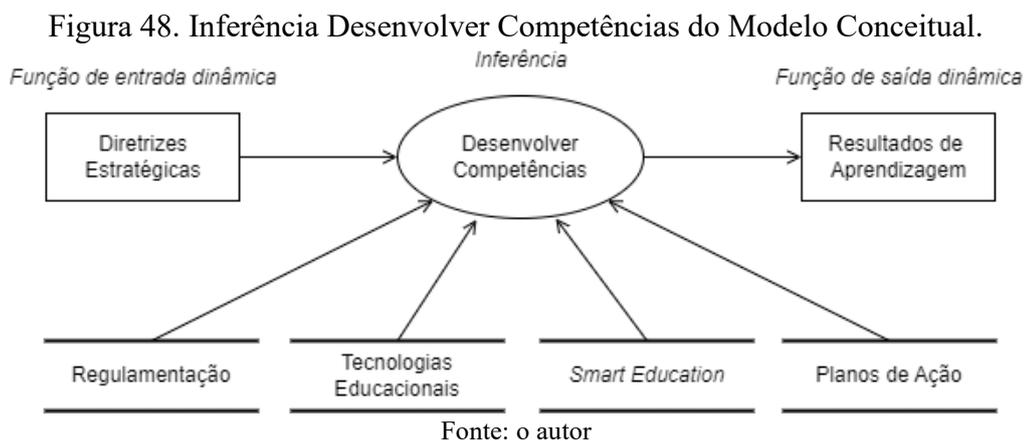
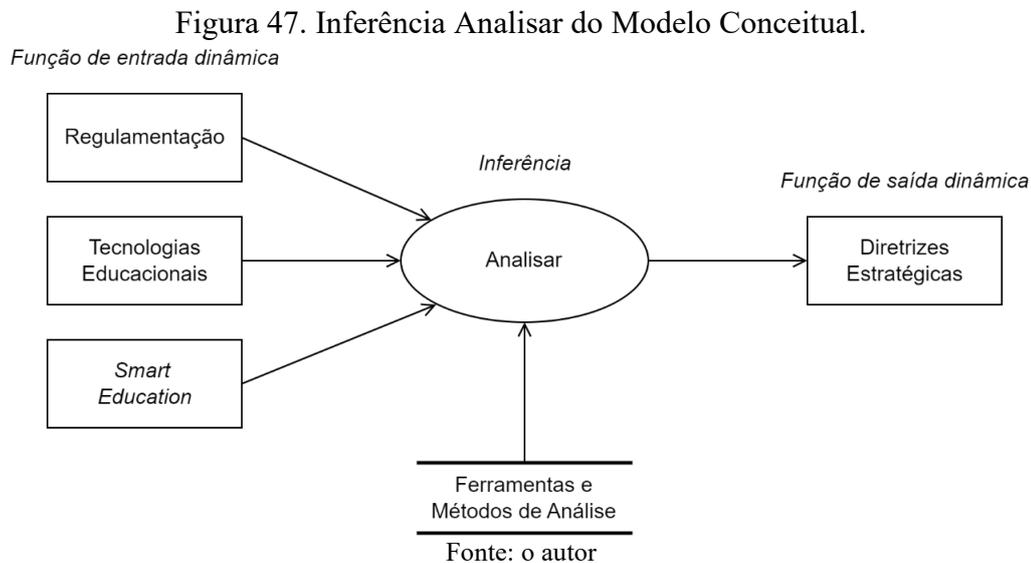
Fonte: O autor.

ferramentas e exemplos para se atender a Regulamentação da Educação em Engenharia. A segunda contém exemplos de Tecnologias Educacionais e como usá-las nas atividades acadêmicas. Já o conhecimento de domínio da *Smart Education* contém as suas melhores práticas. Por fim, o conhecimento de domínio sobre “Planos de Ação” contém as possibilidades para se melhorar os resultados de aprendizagem.

Por fim, “Resultados de Aprendizagem” também é função de entrada dinâmica para a inferência “Medir” (Figura 49). Essa inferência pode ser realizada por uma equipe de acreditação que possui seus métodos e ferramentas para a melhoria contínua, gerando a função de saída dinâmica chamada “Planos de Ação”.

#### 5.2.1.6 Método de Tarefa do Modelo Conceitual

A tarefa de conhecimento tratada aqui, nada mais é do “formular diretrizes estratégicas”. Ou seja, pode ser decomposta nas inferências de “Analisar”, “Desenvolver



Competências” e “Medir” apresentadas na seção anterior. A junção dessas 3 inferências, com as funções de entradas e saídas dinâmicas, mais os conhecimentos de domínio, formam o método de tarefa “Formulação de Diretrizes Estratégicas” representado na Figura 50.

Apesar do Modelo Conceitual focar em formulação de diretrizes estratégicas, o controle sobre elas é realizado quando são colocadas em prática e os resultados obtidos são verificados. Ou seja, para a Educação em Engenharia, uma forma é " Desenvolver Competências " seguindo as diretrizes formuladas e “Medir” os resultados de aprendizagem. Isso justifica a união das 3 inferências da seção anterior no método de tarefa.

Como já dito na seção anterior, a função de saída dinâmica “Diretrizes Estratégicas” da inferência “Analisar” também é função de entrada dinâmica para a inferência “Desenvolver Competências”. E a função de saída dinâmica “Resultados de Aprendizagem” é função de entrada dinâmica para a inferência “Medir”. Consequentemente, de forma a fechar o ciclo do

Figura 49. Inferência Medir do Modelo Conceitual.

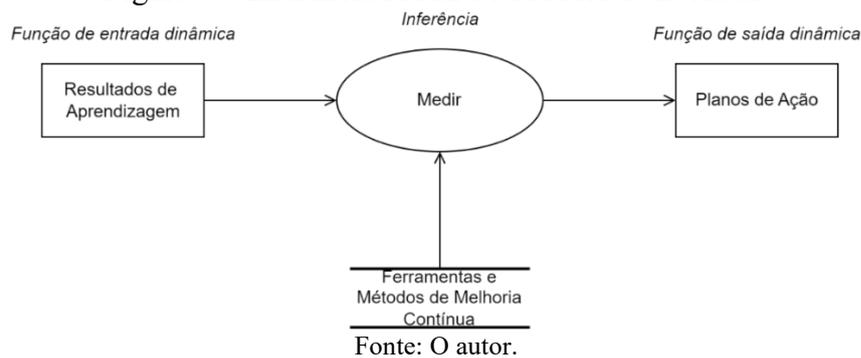
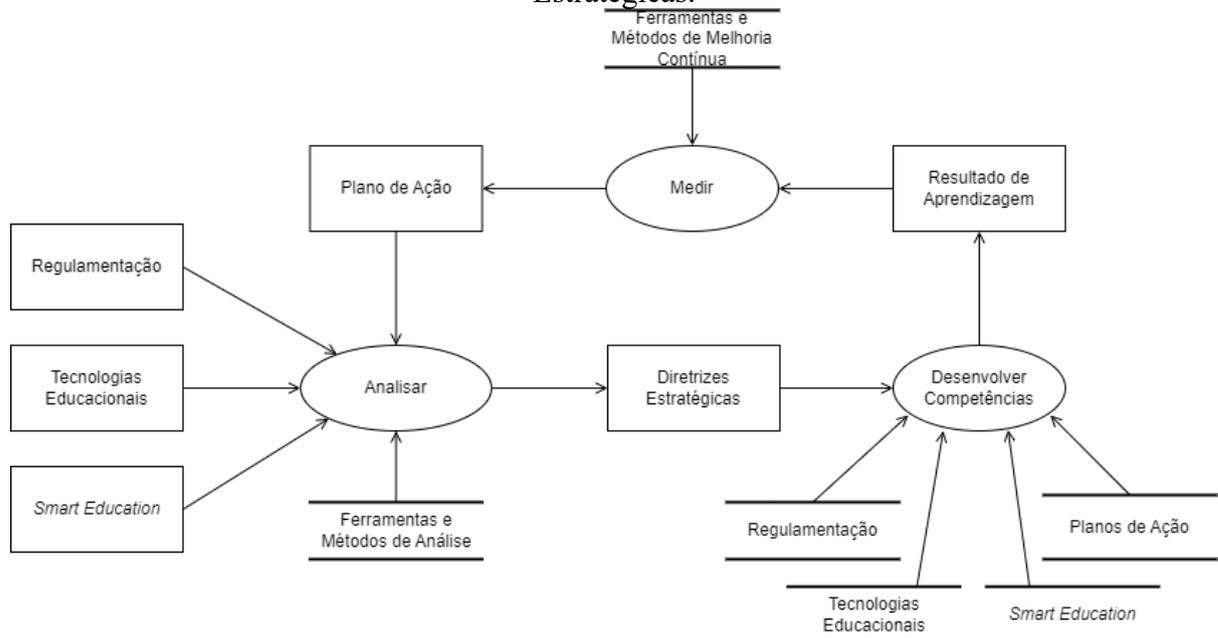


Figura 50. Método de Tarefa do Modelo Conceitual para Formulação de Diretrizes Estratégicas.



Fonte: O autor.

método de tarefa, a função de saída dinâmica “Plano de Ação” acaba sendo a 4ª função de entrada dinâmica para a inferência “Analisar”. Portanto, a análise dos planos de ação, resultantes da medição dos resultados de aprendizagem, em conjunto com a análise da regulamentação, tecnologias educacionais e *Smart Education*, colabora para a formulação de diretrizes estratégicas.

O método de tarefa aqui definido foi usado para na implementação do Sistema para Formulação de Diretrizes Estratégicas (SFDE) como proposta de um artefato tecnológico para o Modelo Conceitual, em conjunto com a organização parcial proposta pelo diagrama de classes da Figura 45.

#### 5.2.1.7 Modelo de Comunicação: troca de informações

A última planilha a ser preenchida é a CM-2 (Tabela 7). Nela, um identificador e um nome são dados a cada transação. Os agentes envolvidos na transação são descritos como remetente e destinatário. Os itens da informação trocada são o papel, a forma e o meio. As especificações da mensagem são descritas como tipo de comunicação, conteúdo e referência. Por fim, se descreve como é feito o controle sobre as mensagens.

Para o Modelo Conceitual, há 3 transações entre agentes diretamente envolvidas com a formulação de diretrizes estratégicas na Figura 46. Entre NDE e SFDE, SFDE e Colegiado, e entre SFDE e Equipe de Acreditação. Contudo, ainda há mais 3 transações entre os agentes, mas de suporte entre NDE e Colegiado, entre NDE e Equipe de Acreditação, e entre Equipe de Acreditação e Colegiado. Cada uma das 6 transações receberam um identificador e um nome. Para cada uma, estão descritos os *agentes envolvidos*, com identificação de remetente e destinatário. Os *itens de informação* possuem a descrição do papel (se diretamente envolvida com as diretrizes ou apenas de suporte), forma de envio e meio e envio.

As *especificações da mensagem* têm o tipo de comunicação (se informa relatórios, propõe diretrizes, ou requisita-oferta suporte), o conteúdo da mensagem em si e as referências (se exemplos de aplicação ou publicações, ou apenas nome de arquivos ou relatórios). Por fim, a tabela também contém o *controle sobre as mensagens*.

Tabela 7 – Planilha CM-2: troca de informações.

<b>Modelo de Comunicação</b>	<b>Planilha de Especificação de Troca de Informação CM-2</b>					
<i>Transação</i>	T01 – Análise de Regulamentação, <i>TechEd</i> e <i>Smart Education</i> . Relatório RAs X Metas	T02 – Diretrizes Estratégicas. RAs	T03 – RAs (entre SFDE e Equipe de Acreditação). Relatório RAs X Metas (entre Equipe de Acreditação e SFDE)	T04 – Suporte (entre NDE e Colegiado)	T05 – Suporte (entre NDE e Equipe de Acreditação)	T06 – Suporte (entre Equipe de Acreditação e Colegiado)
<i>Agentes Envolvidos</i>	<b>1:</b> NDE. SFDE	<b>1:</b> SFDE, colegiado	<b>1:</b> SFDE, Equipe de Acreditação	<b>1:</b> NDE	<b>1:</b> Equipe de Acreditação	<b>1:</b> Equipe de Acreditação
<b>1. Remetente:</b>						
<b>2. Destinatário:</b>	<b>2:</b> SFDE. NDE	<b>2:</b> Colegiado, SFDE	<b>2:</b> Equipe de Acreditação, SFDE	<b>2:</b> Colegiado	<b>2:</b> NDE	<b>2:</b> Colegiado
<i>Itens de informação</i>	<b>1:</b> Formular as diretrizes. Analisar relatório	<b>1:</b> Comunicar as diretrizes. Comunicar os RAs	<b>1:</b> Comunicar os RAs. Comunicar o relatório.	<b>1:</b> Oferecer suporte sobre as diretrizes	<b>1:</b> Oferecer suporte sobre os relatórios	<b>1:</b> Oferecer suporte sobre os relatórios
<b>1. Papel:</b>						
<b>2. Forma:</b>	<b>2:</b> um parágrafo como propriedade/ metadado.	<b>2:</b> propriedade/ metadado em páginas de navegação do SFDE. Planilha de RAs.	<b>2:</b> Planilha de RAs. Relatório.	<b>2:</b> reuniões formais ou informais.	<b>2:</b> reuniões formais ou informais.	<b>2:</b> reuniões formais ou informais.
<b>3. Meio:</b>	<b>3:</b> SharePoint, Power Automate (Microsoft 365).	<b>3:</b> SharePoint, Power Automate (Microsoft 365).	<b>3:</b> SharePoint, Power Automate (Microsoft 365).	<b>3:</b> mesa de reunião presencial, e-mail, chat do Teams ou Postagens no SFDE.	<b>3:</b> mesa de reunião presencial, e-mail, chat do Teams ou Postagens no SFDE.	<b>3:</b> mesa de reunião presencial, e-mail, chat do Teams ou Postagens no SFDE.
<i>Especificações da Mensagem</i>	<b>1:</b> proposta.	<b>1:</b> proposta. Informa.	<b>1:</b> Informa. Informa.	<b>1:</b> Requisita-oferta	<b>1:</b> Requisita-oferta	<b>1:</b> Requisita-oferta
<b>1. Tipo de comunicação:</b>	<b>2:</b> parágrafo comunicando as diretrizes.	<b>2:</b> mensagem comunicando as diretrizes. Mensagem comunicando nova planilha de RAs.	<b>2:</b> Planilha com os RAs. Relatório comparativa entre RAs e Metas.	<b>2:</b> Conversa comunicando as diretrizes.	<b>2:</b> conversa comunicando sobre os relatórios	<b>2:</b> conversa comunicando sobre os relatórios
<b>2. Conteúdo:</b>						
<b>3. Referência:</b>	<b>3:</b> exemplos de aplicação e publicações.	<b>3:</b> exemplos de aplicação e publicações. Nome da Planilha.	<b>3:</b> Nome da Planilha. Nome do Relatório	<b>3:</b> exemplos de aplicação e publicações.	<b>3:</b> Nome da Planilha. Nome do Relatório	<b>3:</b> Nome da Planilha. Nome do Relatório
<i>Controle sobre mensagens</i>	Enviar/Receber. Enviar via Power Automate as diretrizes. Registrar as visualizações.	Enviar/Receber. Enviar via Power Automate as diretrizes e Planilha de RAs. Registrar as visualizações.	Enviar/Receber. Enviar via Power Automate as planilhas e relatórios. Registrar as visualizações.	Aplicável somente a reuniões formais com registo em ata ou transcrição de reuniões online.	Aplicável somente a reuniões formais com registo em ata ou transcrição de reuniões online.	Aplicável somente a reuniões formais com registo em ata ou transcrição de reuniões online.

Fonte: Adaptado de (SCHREIBER et al., 1999).

### 5.2.1.8 Considerações sobre o Modelo Conceitual

As peças mais importantes do Modelo Conceitual são o Diagrama de Classes (Figura 45) e o Método de Tarefa (Figura 50). O primeiro colabora para a organização parcial do ambiente do SFDE, enquanto o segundo contém a função de saída dinâmica para as diretrizes estratégicas, resultados do Modelo Conceitual. É importante lembrar que a inferência “Analisar” iria gerar diretrizes sem a possibilidade de executá-las e sem medir a sua eficiência. Portanto, os “Resultados de Aprendizagem” são gerados por meio da inferência “Desenvolver Competências”, mas também verificados pela inferência “Medir”, que geram “Planos de Ação”, que em conjunto com as funções de entrada dinâmica de “Regulamentação”, “Tecnologias Educacionais” e “*Smart Education*” podem formular novas “Diretrizes Estratégicas” por meio da inferência “Analisar”.

Uma importante consideração sobre o Modelo Conceitual é que ele sirva para quaisquer cursos de engenharia, mesmo aqueles que possuem multidisciplinaridade com outras áreas. É o caso da Engenharia Biomédica, que possui interface com a Medicina e outros cursos da área de saúde. Tendo um olhar sobre o Método de Tarefa, as três funções de entrada dinâmica consideram que a Regulamentação do curso específico será analisada. Isso serve para as Tecnologias Educacionais necessárias para formar competências nos estudantes da Engenharia Biomédica. Já o olhar para a *Smart Education* permite que se analisem quais competências são essenciais para o Engenheiro Biomédico. No mesmo sentido, quais metodologias baseadas em aprendizagem ativa podem ser adotadas, sem se esquecer de envolver os *stakeholders*. Por fim, a análise também permite sugerir trilhas de aprendizagem para o profissional. Portanto, o Modelo Conceitual é genérico e as diretrizes estratégicas podem considerar a multidisciplinaridade e a integração dos cursos de engenharia com outras áreas de conhecimento.

Na próxima seção, a implementação de um artefato tecnológico para o Modelo Conceitual, chamado de Sistema de Formulação de Diretrizes Estratégicas (SFDE), está descrita.

## 5.2.2 Implementação do Modelo Conceitual como um Artefato Tecnológico

Como mencionado anteriormente, a proposta de implementação do Modelo Conceitual foi realizada no SharePoint, entendendo que este recurso vai além de um repositório de

arquivos. A plataforma da Microsoft 365 deve ser usada como uma ferramenta de suporte à Gestão do Conhecimento. E no caso da presente proposta de tese, estruturada e organizada com o apoio da Engenharia do Conhecimento, por meio do *Lightweight CommonKADS*.

Como as universidades federais brasileiras possuem licença de uso do Microsoft 365, bem como boa parte das universidades privadas, entende-se que o Modelo Conceitual pode inspirar outros cursos de engenharia brasileiros a implementar seus Sistemas de Formulação de Diretrizes Estratégicas (SFDE).

### 5.2.2.1 Sistema de Formulação de Diretrizes Estratégicas (SFDE)

Para implementação do SFDE, um site de equipe foi criado no SharePoint, usando o modelo de Colaboração em equipe. O protótipo tem sua página inicial ilustrada na Figura 51. O painel de navegação do lado esquerdo foi resumido a apresentar apenas os links para as bibliotecas de documentos, a página inicial, as páginas e a lixeira. Enquanto na página inicial foi inserida uma seção de links rápidos para a inferência “Desenvolver Competências” do método de tarefa (Figura 50). Na página inicial foram mantidas as seções de “Notícias” e “Atividade”. Em Notícias, a equipe pode publicar alguma atualização sobre o que é feito no SFDE, enquanto a seção de Atividade registra as atualizações realizadas por membros da equipe de colaboração.

Como dito anteriormente, duas peças importantes do Modelo Conceitual foram usadas para estruturação e organização do SFDE: o diagrama de classes (Figura 45) e o método de tarefa (Figura 50). O primeiro foi utilizado para a estruturação das bibliotecas de documentos do SFDE, e o segundo, para a organização e fluxo de conhecimento.

Figura 51. Página inicial do artefato tecnológico implementado a partir do modelo conceitual.



Fonte: O autor.

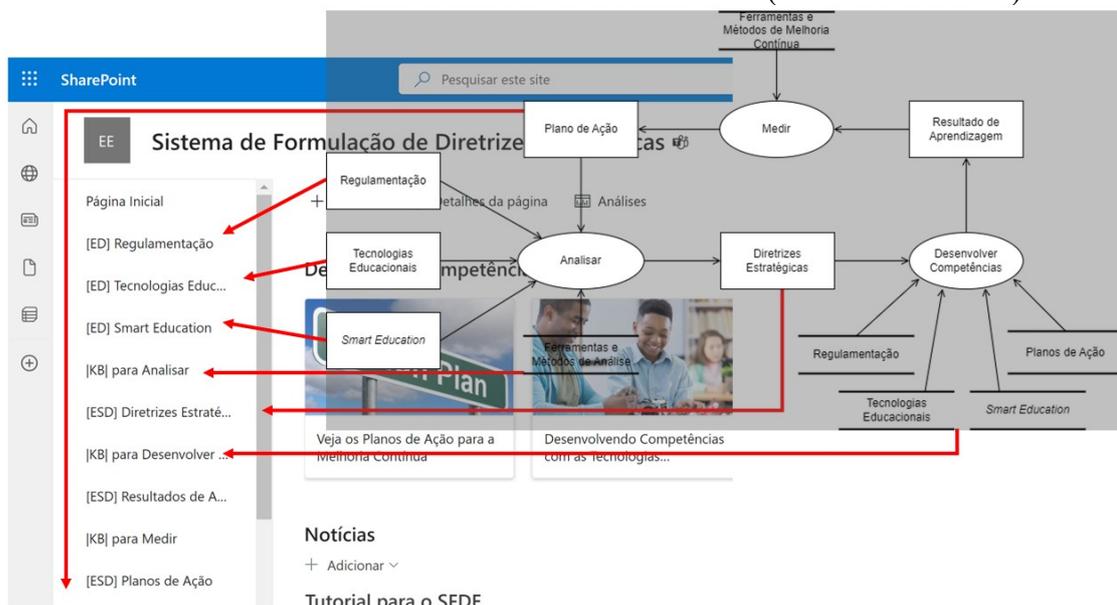
### 5.2.2.1.1 Bibliotecas de Documentos do SFDE

Tradicionalmente, um site de equipe, no modelo de colaboração, traz uma única biblioteca de documentos chamada “Documentos” para o painel de navegação esquerdo. Esta pasta foi retirada e no lugar dela foram adicionadas outras bibliotecas de documentos que representam, no método de tarefa da Figura 50, as funções de entrada dinâmica, as funções de saída dinâmica e os conhecimentos de domínio. A representação [ED] significa que a biblioteca de documentos é na verdade uma função de entrada dinâmica do método de tarefa (ver na Figura 52). Enquanto [ESD] é uma função de entrada dinâmica para a sua inferência seguinte, mas ao mesmo tempo, uma função de saída dinâmica de uma inferência anterior. Por fim, a representação [KB] significa o conhecimento de domínio para alguma inferência, ou seja, é uma base de conhecimento contendo ferramentas e métodos consolidadas e que podem ser utilizadas nas inferências do método de tarefa.

### 5.2.2.2 Metadados das Bibliotecas de Documentos no SFDE

Para esta seção, é preciso olhar novamente para o diagrama de classes na Figura 45. Agora, para exemplificar como os metadados são inseridos, foque na classe *Smart Education*, que tem as suas subclasses: “Competência”, “Metodologia\_Ensino”,

Figura 52. Representação das funções de entrada e saída dinâmicas e dos conhecimentos de domínio nas bibliotecas de documentos do SFDE (site no SharePoint).



Fonte: O autor.

“Relacionamento\_Stakeholder” e “Ensino\_Personalizado”. Estas estão representadas por pastas na biblioteca de documentos, da função de entrada dinâmica “[ED] Smart Education” (Figura 53). Os metadados são colunas adicionadas a cada arquivo ou link que consta em uma biblioteca de documentos. No exemplo da Figura 53, a coluna “Tipo Smart Edu...” é um metadado, que representa a propriedade herdada da classe “Smart Education”. Já o metadado “Análise” é uma ação que precisa ser executada na subclasse. Por fim, “Diretriz” é o metadado que a ação gera como propriedade para a subclasse.

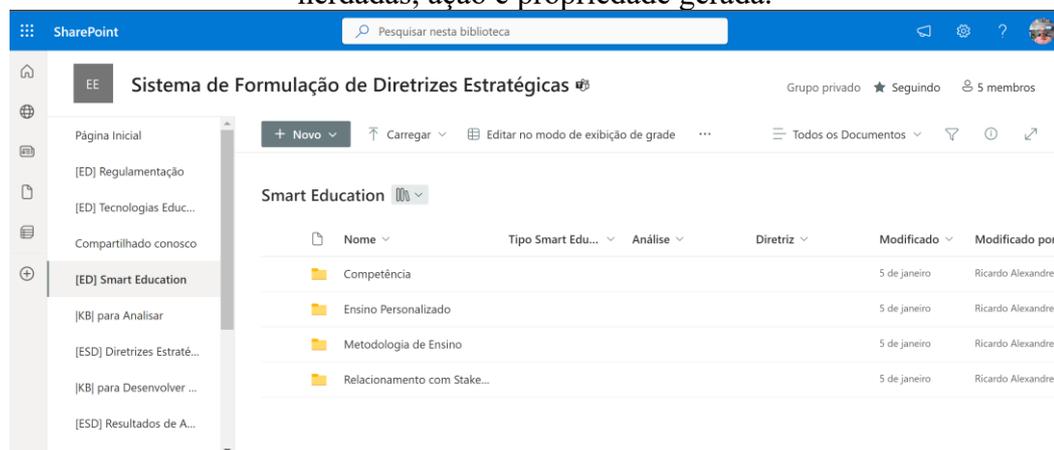
A adição de metadados, como propriedades herdadas, ações e propriedades geradas, também foi realizada para a classe de “Regulamentação” e de “Tecnologias Educacionais”.

### 5.2.2.3 Inferência “Analisar” no SFDE

A inferência “Analisar” no SFDE é uma ação realizada pelo NDE de um curso para cada uma das funções de entrada dinâmicas do método de tarefa. Como exemplo, tem-se a “[ED] Smart Education”, onde deve-se *analisar* uma Metodologia de Ensino registrada em duas publicações (DIOGO et al., 2021b; DIOGO; LOURES; SANTOS, 2023).

No recorte da Figura 54, é possível ver que a coluna “Nome” possui um arquivo chamado “CDIO+CBL.docx”. Nele, estão indicadas as duas referências das publicações para auxiliar usuários do SFDE a encontrá-las. Na coluna de metadados “Tipo Smart Edu...”, o usuário pode escolher entre “Metodologia de Ensino”, “Competência”, “Relacionamento com o Mercado” ou “Ensino Personalizado”. Para o exemplo, o tipo de *Smart Education* foi classificado como *metodologia de ensino*.

Figura 53. Pastas representando as subclasses da classe *Smart Education*: propriedades herdadas, ação e propriedade gerada.



Fonte: O autor.

Para a inferência em questão, o usuário do SFDE pode acessar o conhecimento de domínio “[KB] para Analisar” e consultar as ferramentas e métodos disponíveis para análise. Para o exemplo, a utilização de uma matriz SWOT foi sugerida (Figura 55). Esta biblioteca de documentos também possui metadados, no caso: “Onde usar?” e “Como usar?”, se referindo as ferramentas e métodos de análise. Como a matriz SWOT foi sugerida, ela foi usada para se preencher o metadado “Análise” na biblioteca “[ED] Smart Education”, pasta “Metodologia de Ensino” (Figura 54). A partir da análise, o membro do NDE formula uma diretriz estratégica preenchendo o metadado “Diretriz”.

Figura 54. Exemplo para a inferência “Analisar” no SFDE: análise de metodologia de ensino na *Smart Education*.

Nome	Tipo Smart Edu...	Análise	Diretriz	Modificado	Modificado por
CDIO+CBL.docx	Metodologia de Ensino	Força: uso mesclado do CDIO com CBL, além de sala de aula invertida. Fraqueza: pulou a etapa de engajamento dos estudantes. Oportunidade: aplicação em outras disciplinas para desenvolver projetos. Ameaças: desistências de stakeholders.	Aplicar o modelo combinado do CDIO e CBL em outras disciplinas focadas no desenvolvimento de projetos e soluções.	12 de janeiro	Ricardo Alexandre I

Fonte: O autor.

Figura 55. Conhecimento de Domínio “[KB] para Analisar” no SFDE: sugestão de uso da matriz SWOT.

Nome	Onde usar?	Como usar?
Matriz SWOT.docx	A matriz SWOT deve ser aplicada nas Entradas Dinâmicas [ED] de Regulamentação, Tecnologias Educacionais e Smart Education. E também da entrada dinâmica [ESD] Planos de Ação.	Ver o arquivo.

Fonte: O autor.

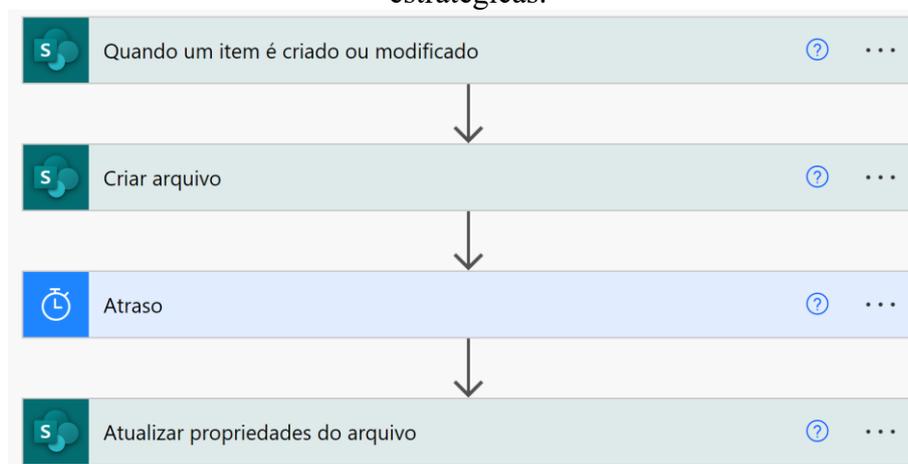
#### 5.2.2.4 Função de Saída/Entrada Dinâmica “Diretrizes Estratégicas” no SFDE

A função de saída dinâmica “[ESD] Diretrizes Estratégicas” recebe automaticamente as diretrizes formuladas por meio da inferência “Analisar”. Essa automatização foi configurada no Power Automate da Microsoft 365. Toda vez que o NDE atualiza ou formula diretrizes, o texto daquele metadado chamado “Diretriz” é enviado ao metadado de mesmo nome na biblioteca de documentos “[ESD] Diretrizes Estratégicas”. Nesta, outro metadado é automaticamente preenchido: o “Nome” do arquivo, trazendo a palavra “Diretriz” concatenado com o nome do arquivo originalmente analisado. O objetivo aqui é reduzir o trabalho manual de membros do NDE quando formulam as diretrizes.

O fluxo para envio do conhecimento foi configurado no Power Automate, como ilustrado na Figura 56. O primeiro bloco, “Quando um item é criado ou modificado” verifica quando um metadado é criado ou modificado na biblioteca de documentos “[ED] Smart Education”. Na sequência, um arquivo é criado, caso ele ainda não exista na biblioteca de documentos “[ESD] Diretrizes Estratégicas”. Devido a criação de um arquivo, um atraso foi configurado para permitir que o próximo bloco, “Atualizar propriedades do arquivo” adicione o novo texto para as diretrizes.

A mesma configuração de fluxo foi realizada quando há atualizações nas bibliotecas de documentos “[ED] Regulamentação”, “[ED] Tecnologias Educacionais” e “[ESD] Planos de Ação”, para o envio automático de diretrizes a biblioteca “[ESD] Diretrizes Estratégicas”.

Figura 56. Fluxo configurado no Power Automate para envio automático de diretrizes estratégicas.



Fonte: O autor.

### 5.2.2.5 Inferência “Desenvolver Competências” no SFDE

Apesar desta tese focar em um Modelo Conceitual para formulação de diretrizes estratégicas, o método de tarefa ficaria incompleto, se não houvesse outras inferências além de “Analisar”. Portanto, as diretrizes são direcionadas ao Colegiado do curso, que são as pessoas na linha de frente da Educação em Engenharia. Membros do Colegiado, enquanto na função de professores, executam a inferência de “Desenvolver Competências”. Logo, esta inferência tem as “Diretrizes Estratégicas” como função de entrada dinâmica.

No SFDE, os professores podem acessar a inferência de “Desenvolver Competências” diretamente pela página inicial, clicando em um em um dos 4 links do topo na página: “Veja os Planos de Ação para a Melhoria Contínua”; “Desenvolver Competências com as Tecnologias Educacionais”; “Desenvolver Competências com as ferramentas da Smart Education” e “Desenvolva Competências considerando a Regulamentação”. Outro caminho para é acessar a biblioteca de documentos “|KB| para Desenvolver...” no menu de navegação lateral (Figura 57).

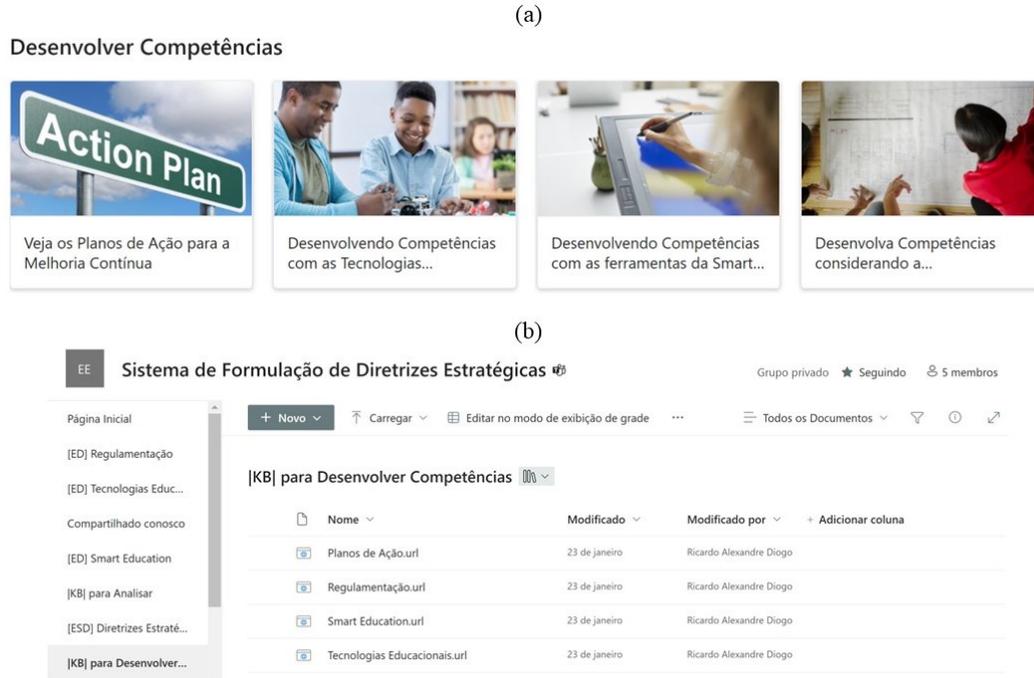
O acesso por meio do link da página “Smart Education.url” da “|KB| para Desenvolver...” ou o link rápido “Desenvolver Competências com as ferramentas da Smart Education” na “Página Inicial” leva a visualização da Figura 58.

Nela, percebe-se um bloco central que traz as pastas da biblioteca de documentos “Smart Education”. Isso permite que membros do Colegiado acessem essas pastas e consigam visualizar as diretrizes estratégicas rapidamente.

Já na parte inferior da página, há links rápidos correspondentes às pastas da “Smart Education”, ou subclasses conforme o diagrama de classes do Modelo Conceitual. Tomando como exemplo o click no link rápido “Metodologias de Ensino”, tem-se o acesso a página de mesmo nome (Figura 59). Sugere-se que nesta página (e até mesmo as outras) exemplos de uso das metodologias de ensino sejam publicados. Também é recomendado que esse tipo de página tenha acesso liberado aos professores para que efetivamente possam o tornar um ambiente de colaboração e divulgação de exemplos de uso das metodologias de ensino.

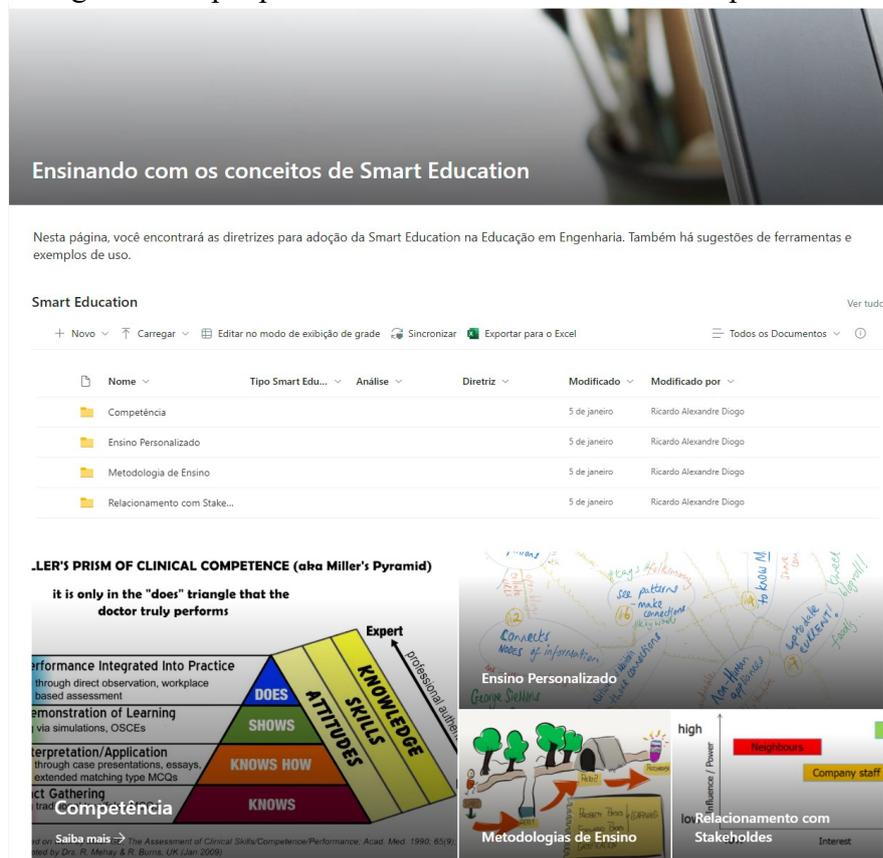
A execução da inferência “Desenvolver Competências”, com o apoio dos domínios de conhecimento em “Regulação”, “Tecnologias Educacionais”, “Smart Education” e “Planos de Ação”, em um modelo de formação de competências, gera os “Resultados da Aprendizagem” como função de saída dinâmica.

Figura 57. Inferência “Desenvolver Competências” no SFDE: a) acesso por links rápidos; b) acesso pelo menu de navegação lateral.



Fonte: O autor.

Figura 58. Página Principal para a inferência “Desenvolver Competências” no SFDE.



Fonte: O autor.

### 5.2.2.6 Função de Saída/Entrada dinâmica “Resultados de Aprendizagem” no SFDE

Também não é foco desta tese, mas a função de saída dinâmica “Resultados de Aprendizagem” faz parte do método de tarefa do Modelo Conceitual. Ela é alimentada por planilhas contendo notas ou conceitos adicionais à biblioteca de documentos “[ESD] Resultados de Aprendizagem”. Os metadados sugeridos são as informações sobre metas definidas pela Equipe de Acreditação e o resultado de uma análise sobre os resultados de aprendizagem.

No artefato tecnológico para o Modelo Conceitual, considera-se que os Resultados de Aprendizagem são inseridos manualmente pelos professores. Em uma versão futura, pode-se considerar que os dados sejam integrados entre um sistema de gestão acadêmica e o SFDE.

Os Resultados de Aprendizagem também são considerados como função de entrada dinâmica para a inferência “Medir”.

Figura 59. Exemplo de um caso de uso relacionado a uma diretriz estratégica formulada.

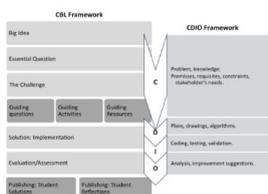


Encontre metodologias de ensino e escolha aquela que melhor se adaptar a sua realidade.

Use integrado do framework CDIO com o framework para aprendizagem baseada em desafios

Este é um espaço de compartilhamento colaborativo

Mostre a sua experiência no seu curso e nas suas disciplinas.



Proposta de uso integrado dos frameworks.

Esta é uma proposta que tem sido usada na **Engenharia Mecatrônica** e na **Engenharia de Produção**, nas disciplinas de **Industrial Internet of Things e Computação Ubíqua**.

Se tratando de disciplinas focadas no **desenvolvimento de projetos**, sugere-se a replicação ou adaptação para outras disciplinas voltadas a projetos.

*Há um capítulo de livro em prelo relatando sobre essa experiência. Quando disponível, você poderá consultá-lo. Analise se este exemplo pode ser adotado em sua disciplina. Sinta-se livre para adaptá-lo às suas necessidades.*

Data prevista para publicação do livro: 01/04/2023. ISBN: 9780323992084

Comente!

Fonte: O autor.

### 5.2.2.7 Inferência “Medir” no SFDE

A inferência “Medir” tem o suporte do conhecimento de domínio “Ferramentas e Métodos de Melhoria Contínua”, que no SFDE é representado pela biblioteca de documentos “[KB] para Medir”. Neste caso, a Equipe de Acreditação faz uso das ferramentas e métodos, para comparar os Resultados de Aprendizagem e as Metas. Por sua vez, o NDE faz uma análise crítica e sugere ações que irão compor os “Planos de Ação”.

### 5.2.2.8 Função de Saída/Entrada Dinâmica “Plano de Ação” no SFDE

Esta função é resultado das ações propostas pelo NDE, quando recebe a comparação dos Resultados de Aprendizagem com as Metas. Como função de entrada dinâmica, um Plano de Ação é *analisado* para se formular diretrizes estratégicas. Ou seja, assim como para as funções de entrada dinâmicas “Regulamentação”, “Tecnologias Educacionais” e “Smart Education”, a inferência “Analisar” é aplicada.

### 5.2.2.9 Considerações iniciais sobre o artefato tecnológico

O artefato tecnológico foi construído a partir do diagrama de classes e do método de tarefa que compõem o Modelo Conceitual para Formulação de Diretrizes Estratégicas na Concepção e Atualização de Cursos de Engenharia, no contexto da Transformação Digital, desta proposta de tese.

É importante destacar que estrutura organizacional pode ser diferente da proposta do Modelo Conceitual, bem como outras características de cursos de engenharia. Sendo assim, sugere-se que o Modelo Conceitual seja adaptado para a realidade e necessidades de cada curso de engenharia. Conseqüentemente, o SFDE de cada curso poderá sofrer algumas alterações.

Finalmente, tendo o artefato tecnológico, ele foi submetido a avaliação de especialistas na Educação em Engenharia, para analisar a viabilidade do Modelo Conceitual.

## 5.3 FASE 8 – AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

O artefato desta tese é na verdade o Modelo Conceitual. Contudo, como dito anteriormente, especialistas em Educação em Engenharia podem não ter o domínio suficiente

sobre ferramentas para a Engenharia do Conhecimento. Portanto, o SFDE foi implementado a partir do projeto do Modelo Conceitual para se obter um artefato tecnológico, em que os especialistas em Educação em Engenharia pudessem colocar os seus olhares e emitirem a avaliação sobre o protótipo. Conseqüentemente, e mesmo que indiretamente, avaliou-se a consistência e viabilidade do Modelo Conceitual.

A avaliação do artefato se dá pela sua aplicação em campo. Ou seja, ele foi apresentado aos especialistas em Educação em Engenharia, para a **avaliação de viabilidade e de consistência do Modelo Conceitual proposto**. Esta fase foi guiada por entrevistas semiestruturadas com grupos focais formados por especialistas.

Na fase de avaliação do artefato, deve-se observar e medir o comportamento do modelo perante uma solução para um problema real. Também é o momento de olhar para o entendimento do problema (fase 2) e comparar com os resultados da avaliação do artefato, quanto a sua viabilidade e consistência. Aqui, deve-se ter um ponto de atenção. A avaliação foi feita sobre o artefato tecnológico. Resultados de longo prazo, como a avaliação de competências dos engenheiros, não foram obtidos até o fim da presente proposta de tese, devido ao longo ciclo de formação de profissionais de engenharia.

Como esta fase é de avaliação, eventualmente, correções na proposta do artefato precisarão ser realizadas. Os fluxos de *feedback* da DSR apontam para das fases 2, 5, 6 ou 7. Cabe ao pesquisador identificar onde o artefato apresentou problemas para então buscar por melhorias a partir daquele ponto ou indicar as limitações de aplicação do artefato. Entretanto, os fluxos de retorno não foram usados, uma vez que o Modelo Conceitual foi validado. Apenas pequenas melhorias foram propostas e que não atingem a consistência e viabilidade. Tais melhorias podem ser aplicadas em trabalhos futuros.

### 5.3.1 Grupos Focais

Os grupos focais foram formados com representantes das 8 universidades brasileiras participantes do PMG: PUCPR, SENAI Cimatec, UFRGS, UFRJ, UFSCar, UNIFEI, Unisinos e USP (CAPES-CNE-COMISSÃO FULBRIGHT, 2018; FULBRIGHT BRASIL, 2018).

O SFDE foi apresentado a 3 grupos focais, somando 9 participantes, considerados aqui como especialistas em Educação em Engenharia, uma vez que são professores das universidades com o compromisso de modernizar a Educação em Engenharia no Brasil.

### 5.3.2 Limitação para as entrevistas

Uma limitação importante para as entrevistas é que o SFDE foi objeto de observação sobre o uso para 7 dos entrevistados. Apenas 2 tiveram acesso ao SFDE, por serem membros da mesma universidade que o autor desta tese (PUCPR). Neste caso, o SFDE teve uma versão replicada para o uso dos entrevistados. O SFDE foi primeiramente implementado no SharePoint da UFSC. Como estudante, o autor da tese não tem autorização para inclusão de membros externos.

### 5.3.3 Condução das entrevistas

As entrevistas foram iniciadas com cada grupo focal, primeiramente mostrando o problema de pesquisa e o objetivo geral da presente tese.

Em seguida, apresentou-se brevemente a metodologia utilizada para se construir do artefato, no caso, o *Lightweight CommonKADS* (SURAKRATANASAKUL, 2017). Também, o uso do Sharepoint como ferramenta de implementação foi justificado. Ou seja, explicando que as organizações têm usado a ferramenta da Microsoft 365 como plataforma para a Gestão do Conhecimento, além de que as universidades federais e particulares possuem a licença de uso. Portanto, se consistente e viável, o artefato pode ser replicado em outras IES, o adaptando para as suas devidas particularidades.

Durante a apresentação introdutória, foco especial foi dado ao diagrama de classes do Modelo Conceitual (Figura 45), que colaborou na estruturação das bibliotecas de documentos do SFDE, ou seja, na implementação dos metadados como propriedades para as classes. Também, atenção foi dada ao método de tarefa (Figura 50), uma vez que indica como as diretrizes estratégicas são formuladas.

Na sequência, a entrevista foi fragmentada em 6 partes.

Para a primeira seção de perguntas, referente aos requisitos funcionais considerados importantes para o artefato, iniciou-se apresentando alguns resultados da pesquisa para o projeto do artefato (Figura 30 e Figura 31). Esses resultados são especificamente aqueles sobre a “ponte” da Educação em Engenharia, com os pilares da *Smart Education* e das Tecnologias Educacionais. Ainda nesta seção, os resultados sobre características importantes da *Smart Education* na Educação em Engenharia e para a formação de competências para a

Transformação Digital também foram apresentados (Figura 32 e Figura 33). Ainda, igualmente, os resultados acerca das Tecnologias Educacionais para a Educação em Engenharia (Figura 34) foram apresentados. Por fim, as competências importantes a serem formadas em novos estudantes de engenharia também foram exibidos (Figura 35). Então, o SFDE foi apresentado, com foco em como usá-lo para atender aos requisitos funcionais.

A segunda seção de perguntas apresentou as premissas consideradas importantes para o projeto do artefato (Figura 36). Igualmente, o SFDE foi apresentado de forma a mostrar aos grupos focais como ele atende às premissas.

As 4 seções seguintes de perguntas foram referentes aos requisitos não-funcionais de estrutura, de uso, de gestão e de ambiente/plataforma. As perguntas foram direcionadas somente aos requisitos não-funcionais considerados importantes pelos entrevistados para o projeto do artefato (Figuras 37 a 40). A navegação no SFDE, tentando mostrar os requisitos não-funcionais, também foi realizada.

### 5.3.4 Resultados

Os resultados aqui apresentados seguem a ordem colocada no item anterior. Para cada grupo de perguntas, as respostas possíveis foram “sim”, “não” e “parcialmente”. Uma questão aberta também foi colocada para cada grupo de perguntas, abrindo oportunidade aos entrevistados sugerirem melhorias para o artefato nas dimensões avaliadas.

É importante ressaltar que cada grupo de perguntas se refere apenas às características consideradas como importantes, ou seja, os resultados da entrevista para o projeto do artefato.

#### 5.3.4.1 Requisitos Funcionais

Para os requisitos funcionais do artefato, as seguintes questões foram postas:

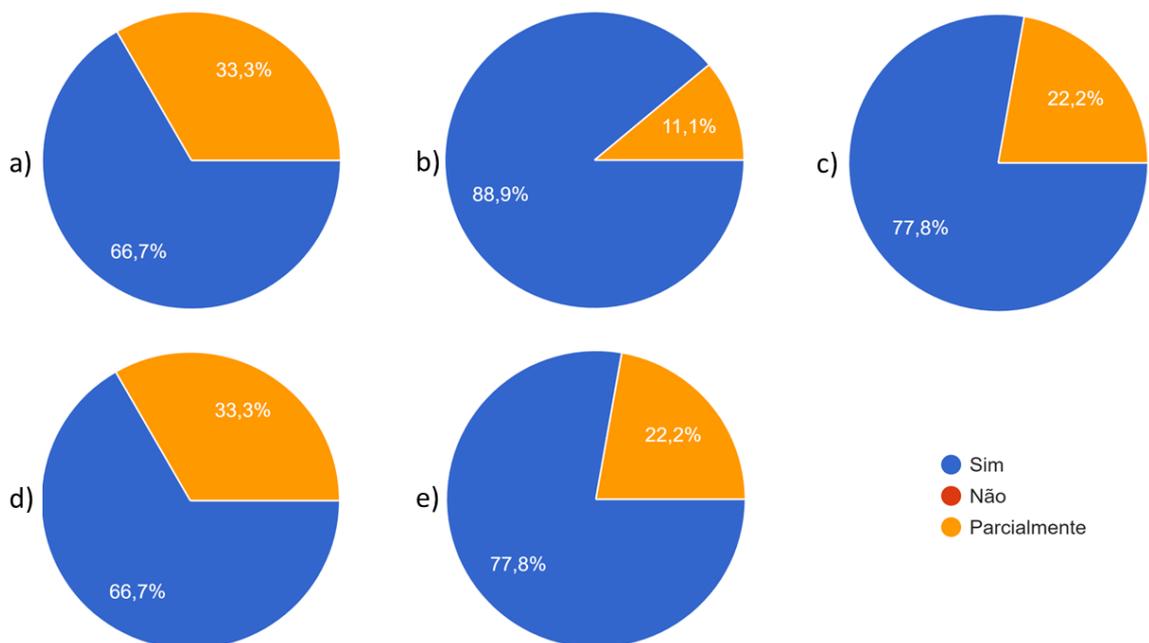
- a) *O artefato considera os requisitos para definição das diretrizes estratégicas, formando competências para a Transformação Digital?*
- b) *O artefato permite a análise de tecnologias educacionais modernas na definição de diretrizes que colaborem para a formação de competências na era da Transformação Digital?*

- c) *O artefato permite a análise de metodologias baseadas em aprendizagem ativa de aprendizagem na definição de diretrizes que colaborem para a formação de competências na era da Transformação Digital?*
- d) *O artefato inclui a participação da Sociedade e da Indústria para a definição de diretrizes que colaborem para a formação de competências na era da Transformação Digital?*
- e) *O artefato permite analisar ferramentas de suporte para definição de diretrizes que colaborem para a formação de competências na era da Transformação Digital?*
- f) *[Questão aberta] Há alguma sugestão de melhoria para o artefato? Se sim, por favor, descreva quais melhorias.*

Os resultados apresentados na Figura 60 apontam que o artefato é viável, considerando os requisitos funcionais importantes para a Educação em Engenharia. Contudo, melhorias ainda são necessárias para a formulação de diretrizes estratégicas na formação de competências para a Transformação Digital (a) e na participação da Sociedade e da Indústria (d).

Para a questão (a), um dos entrevistados sugeriu explicitar os papéis e responsabilidades de cada ator no artefato, por exemplo, quem formula as diretrizes. Outro sugeriu dar mais exemplos de uso. Já para a questão (d), uma contribuição foi a de melhorar a integração com os *stakeholders* externos. Para as primeiras contribuições, a melhoria pode ser dada a partir de páginas no artefato tecnológico com explicações de uso para cada um dos atores

Figura 60. Requisitos Funcionais: avaliação do artefato.



Fonte: O autor.

no SFDE. Para a integração dos *stakeholders*, há necessidade de autorização da equipe de TI da IES, para acesso externo.

#### 5.3.4.2 Premissas

Para as premissas, apenas uma questão foi formulada: *considera as premissas?* Ou seja, se o artefato considera as resoluções de conselhos de engenharia, as leis que impactam a Educação em Engenharia e o corpo docente existente. Estes foram os únicos itens considerados importantes na entrevista para o projeto do artefato. A questão aberta também foi: *se considerou parcialmente as premissas, quais não considerou?*

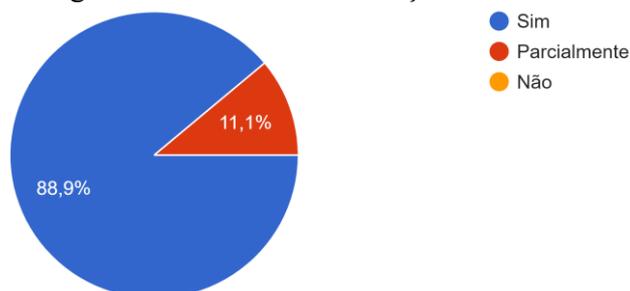
Os resultados da Figura 61 mostram que o artefato considera as premissas, portanto, é viável. Um dos entrevistados sugeriu incluir como premissa o fator humano, quanto a sua resistência e disponibilidade. Esta colocação é compreensível, mas a melhoria poderia ser implementada em versões futuras do SFDE, considerando que é uma característica de difícil explicitação. As duas “propriedades” apontadas são variáveis em uma organização. A resistência de um professor pode expor um ponto fraco no corpo docente. Por outro lado, a disponibilidade pode ser entendida como uma restrição de tempo.

#### 5.3.4.3 Requisitos Não-Funcionais de Estrutura

As características consideradas importantes nesta dimensão foram coerência, consistência, modularidade e concisão. As seguintes questões foram apresentadas:

- a) *O artefato é coerente? Logicamente, ordenadamente e consistentemente tem suas partes relacionadas?*
- b) *Ele é consistente? Livre de conflitos?*
- c) *É modular? Tem componentes que podem ser separados ou recombinaados?*

Figura 61. Premissas: avaliação do artefato.



Fonte: O autor.

d) *É conciso? Livre de redundâncias?*

e) *[Questão aberta] Se você respondeu parcialmente ou não a alguma questão, o que precisa ser melhorado?*

Os resultados da Figura 62 sugerem que o artefato é viável quanto a sua estrutura. Especial atenção pode ser dada a questão (b), pois um dos objetivos específicos desta tese é verificar a consistência do modelo. Como 100% dos respondentes afirmaram pela consistência, pode-se considerar que o objetivo específico foi alcançado. Por outro, melhorias são necessárias para reduzir as redundâncias no SFDE. Um dos respondentes colocou que a redundância acaba sendo necessária, devido a replicação das diretrizes nas diversas bibliotecas de documentos do SFDE. Uma colocação interessante foi que a percepção do entrevistado é que o SFDE se parece com uma comunidade de prática, se sobressaindo do objetivo de formulação de diretrizes estratégicas. De fato, a comunidade de prática existe, quando os exemplos são colocados nas páginas pelos docentes. Mas cabe lembrar que esses exemplos se referem a execução das diretrizes estratégicas.

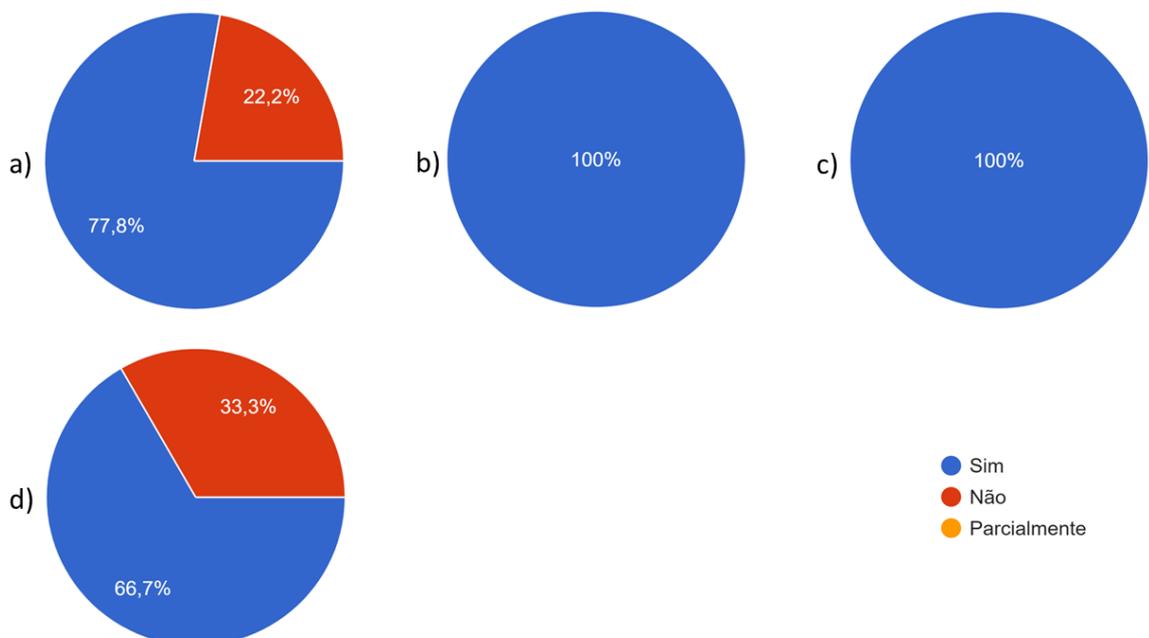
#### 5.3.4.4 Requisitos Não-Funcionais de Uso

Quanto a usabilidade do artefato, o grupo de questões abaixo foi formulado:

a) *Há facilidade de uso para se atingir um objetivo?*

b) *É fácil de ser entendido e compreendido?*

Figura 62. Requisitos Não-Funcionais de Estrutura: avaliação do artefato.



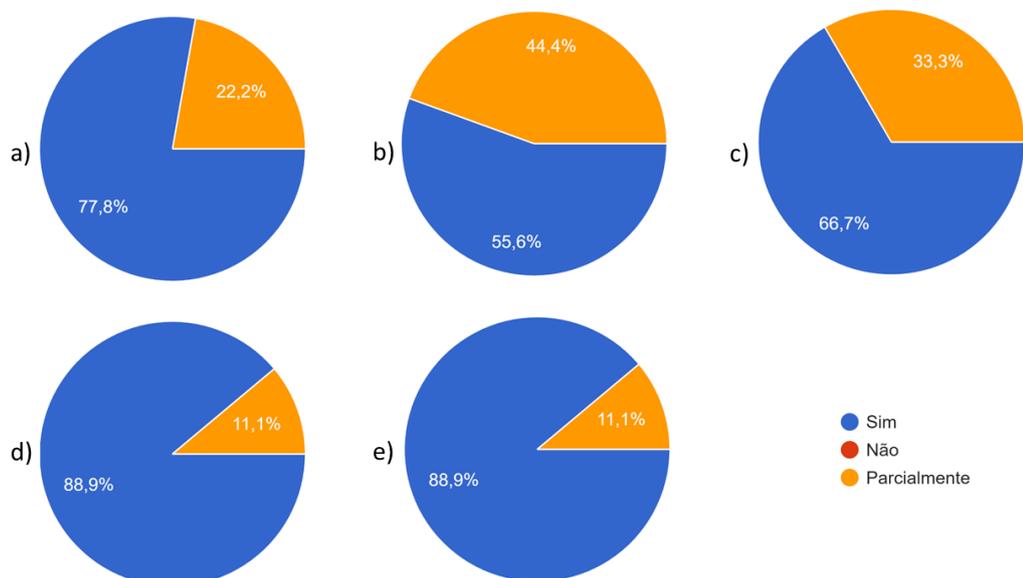
Fonte: O autor.

- c) *É fácil de aprender a usá-lo?*  
 d) *É customizável?*  
 e) *É possível verificar o histórico de uso?*  
 f) *[Questão aberta] Se você respondeu parcialmente ou não a alguma questão, o que precisa ser melhorado?*

Os resultados apresentados na Figura 63 sugerem que o artefato é usável, conseqüentemente, viável. Atenção especial deve ser dada aos resultados das questões (b) e (c), onde os entrevistados consideram que é parcialmente possível de ser entender e compreender o uso do artefato. Como houve a limitação de uso, quando apenas poucos entrevistados tiveram uma experiência *hands-on*, esse resultado pode ter sido afetado. Dois dos entrevistados colocaram na questão aberta que devido a esta limitação, responderam parcialmente. Eles se sentiriam confidentes na resposta caso tivessem tido a oportunidade de usar, conseqüentemente, entendendo e compreendendo o SFDE.

Sugestões ainda foram colocadas o sentido de poder integrar o SFDE a outros sistemas acadêmicos, para automatizar a entrada de dados, reduzindo a carga de trabalho do corpo docente, especialmente na alimentação da função de saída dinâmica “Resultados de Aprendizagem”. Como o foco desta tese é para a formulação de diretrizes, a melhoria poderia ser tratada como projeto futuro. Outra sugestão de melhoria seria haver descrições de como preencher campos ou a existência de tutoriais.

Figura 63. Requisitos Não-Funcionais de Uso: avaliação do artefato.



Fonte: O autor.

### 5.3.4.5 Requisitos Não-Funcionais de Gestão

Para as características de gestão do artefato, as seguintes perguntas foram colocadas aos entrevistados:

- a) *É fácil de manter, corrigir ou atualizar o artefato?*
- b) *É flexível para se adaptar a mudanças causadas por fatores externos?*
- c) *É possível auditar o que acontece no artefato?*
- d) *[Questão aberta] Se você respondeu parcialmente ou não a alguma questão, o que precisa ser melhorado?*

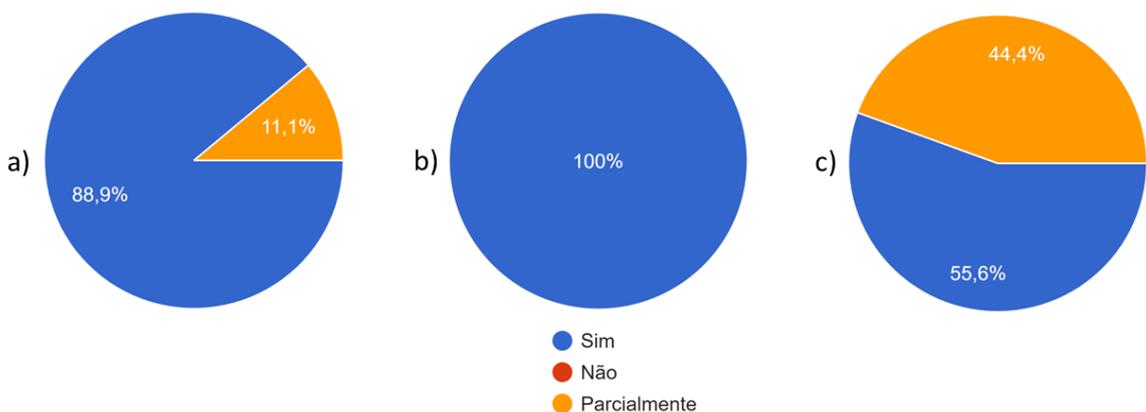
As respostas presentes na Figura 64 sugerem que é possível gerir do SFDE, portanto, o artefato é viável. Somente “auditar” o SFDE apresentou dificuldades, uma vez que os *logs* devem ser solicitados ao time de TI da universidade. Ou seja, a auditoria não é, em um primeiro momento, realizada pelos usuários do SFDE.

Como sugestões, dois entrevistados colocaram que há necessidade de se explicitar melhor como é registrado o histórico de alterações nas diretrizes, no caso de atualizações, principalmente, nas funções de entrada dinâmicas da inferência “Analisar”. Esta melhoria pode ser testada com novos fluxos de automação, gerando arquivos com suas versões e não sobrescrever as diretrizes previamente formuladas. Atualmente, esta é uma limitação no SFDE, mas que não descaracteriza do Modelo Conceitual.

### 5.3.4.6 Requisitos Não-Funcionais de Ambiente

O último grupo de perguntas foi quanto ao ambiente em que o SFDE foi implementado. As seguintes questões foram formuladas:

Figura 64. Requisitos Não-Funcionais de Gestão: avaliação do artefato.

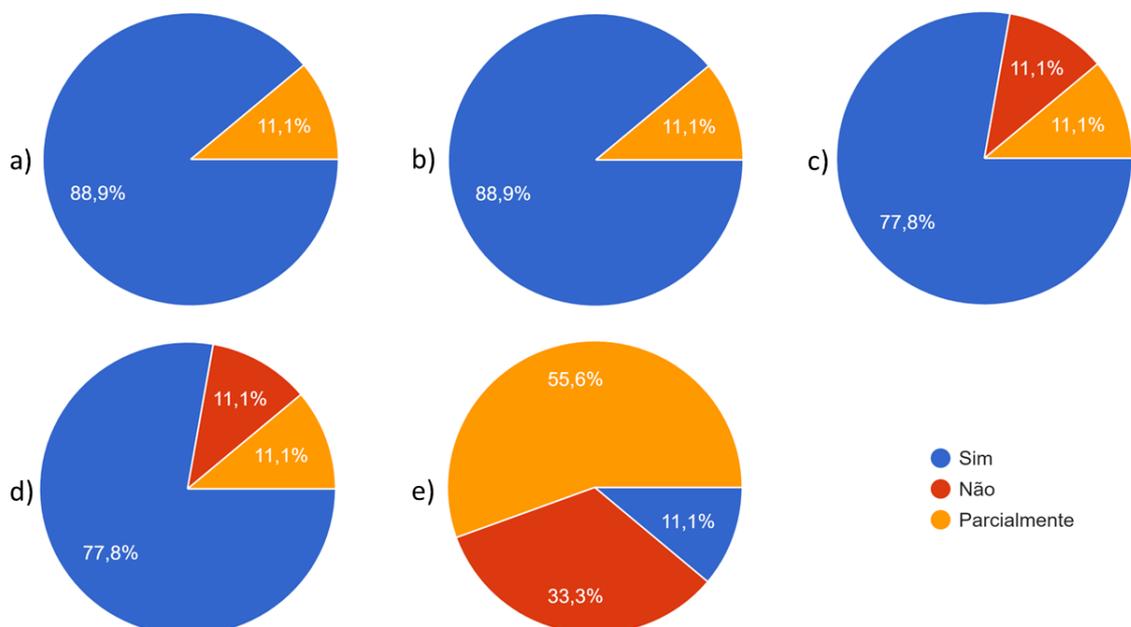


Fonte: O autor.

- a) O artefato corresponde ao que ele propõe?
- b) O artefato atinge seus objetivos? Define diretrizes e comunica elas aos envolvidos?
- c) O artefato usa pouco tempo, esforço de seus usuários?
- d) O artefato usa poucos recursos? De horas ou financeiros?
- e) O artefato resiste a mudanças do ambiente/plataforma sem ter que ser remodelado?
- f) [Questão aberta] Se você respondeu parcialmente ou não a alguma questão, o que precisa ser melhorado?

As respostas presentes na Figura 65 sugerem que o ambiente para o SFDE é adequado, portanto, o artefato é viável. O único ponto negativo é quanto a uma possível mudança da plataforma. Por exemplo, se o SharePoint for descontinuado ou sofrer uma grande alteração, o artefato resistiria a uma alteração de ambiente? É importante destacar que os entrevistados acabaram levando em conta o SFDE desenvolvido no SharePoint. A questão é se o Modelo Conceitual seria aplicável e viável em outras plataformas para a implementação do SFDE. E ainda, o histórico seria preservado? Alguns dos entrevistados colocaram que a alteração de plataforma pode exigir muitas horas de adequação. Entretanto, fica como sugestão para trabalhos futuros, o estudo de implementação em outras plataformas.

Figura 65. Requisitos Não-Funcionais de Ambiente: avaliação do artefato.



Fonte: O autor.

### 5.3.5 FASE 9 EXPLICITAÇÃO DA APRENDIZAGEM ALCANÇADA

Nesta fase, os pontos positivos do artefato são identificados, bem como os negativos, para que sirvam de suporte a criação do conhecimento (DRESCH; PACHECO; VALLE ANTUNES, 2015). Ou seja, é preciso indicar como o Modelo Conceitual será útil e referência para a formulação de diretrizes estratégicas na concepção e atualização de cursos de engenharia, considerando as demandas da Transformação Digital.

O Modelo Conceitual se torna útil, pois pode ser implementado em quaisquer cursos de engenharia, devido a sua replicabilidade, desde que considerem a legislação vigente para a Educação em Engenharia e a adoção de Tecnologias Educacionais e boas práticas da *Smart Education*. Como parte do Modelo Conceitual, estes três pilares (a regulamentação, mais os pilares da ponte para a Educação em Engenharia) são as classes explicitadas no diagrama de classes da Figura 45. Aqui é preciso diferenciar a customização e modularidade entre o ambiente computacional em que o artefato tecnológico foi implementado e o próprio Modelo Conceitual. O ambiente computacional prova-se modular e customizável. Contudo, o Modelo Conceitual é uma especificação para a presente proposta de tese. Se há necessidade de customizá-lo, isso significa que o modelo está sendo modificado em algum ponto. Para este caso, sugere-se que a versão da metodologia *Lightweight CommonKADS* seja aplicada desde o início, dando especial atenção ao diagrama de classes que será modelado, bem como o método de tarefa. Ou seja, uma nova versão do Modelo Conceitual será projetada.

O método de tarefa da presente proposta de tese considera, além da inferência de “Analisar” (a regulamentação, as Tecnologias Educacionais e a *Smart Education*), outras duas inferências em sequência: a de “Desenvolver Competências” (a partir das diretrizes estratégicas) e a de “Medir” (os resultados de aprendizagem). O método de tarefa, parte integrante do Modelo Conceitual, torna-se também uma sugestão de uso. No caso de haver um novo diagrama de classes, poderá haver novas funções de entrada dinâmica para a inferência de “Desenvolver Competências”, conseqüentemente, mais objetos de entrada manipulados. Se por este caminho, a modificação do Modelo Conceitual também ocorre.

Apesar do Modelo Conceitual ser replicável, ele não possui flexibilidade. Mesmo assim, ainda é uma referência de uso na formulação de diretrizes estratégicas. Os passos aqui executados para o projeto do Modelo Conceitual poderão servir de inspiração a outros modelos.

A implementação do Modelo Conceitual como protótipo funcional no SharePoint mostra que o artefato tecnológico pode ser usado como referência para outras escolas de

engenharia, uma vez que a plataforma Microsoft 365 é ferramenta institucional para universidades federais e particulares.

O projeto do Modelo Conceitual a partir de uma ferramenta da Engenharia do Conhecimento mostrou que o artefato serve de suporte a Gestão do Conhecimento. Isso se deve ao fato de que o Modelo Conceitual, implementado em plataforma computacional, permite a análise do conhecimento existente sobre a regulamentação de engenharia, sobre as Tecnologias Educacionais e sobre os componentes da *Smart Education*. A análise irá resultar na formulação de diretrizes estratégicas, sendo estas, portanto, novos conhecimentos. Deste modo, o Modelo Conceitual permite a implementação de sistemas para a Gestão do Conhecimento, onde os usuários são o corpo docente, o NDE e a coordenação de curso.

Apesar dos entrevistados avaliarem o Modelo Conceitual como viável e consistente, A implementação se deu exclusivamente em uma plataforma computacional. No caso de troca do ambiente, há necessidade de se averiguar a aplicabilidade do Modelo Conceitual.

E como todo sistema computacional, os seus usuários deverão ser treinados. Em um primeiro momento, isso significará o consumo de horas de trabalho dos implementadores e dos usuários.

Para finalizar esta fase, cabe ressaltar que uma importante aprendizagem alcançada é referente a revisão da literatura. Os achados apontam que a Educação em Engenharia moderna é suportada por Tecnologias Educacionais e a *Smart Education*. Essa ponte está alinhada aos preceitos de formação de competências nos estudantes para enfrentar os desafios e oportunidades da Transformação Digital. Contudo, cabe salientar que a *Smart Education* se relaciona fortemente com as Tecnologias Educacionais. Essa aliança é fundamental para a formação de competências completas, ou seja, quando o estudante é capaz de aplicar o conhecimento de engenharia em contexto real, demonstrando habilidades profissionais, atitudes e valores pessoais.

No próximo capítulo, as últimas 3 fases do DSR para o presente trabalho serão apresentadas, a iniciar pelas conclusões.

## 6 CONCLUSÃO

Neste capítulo, a presente tese é encerrada com as últimas 3 fases do DSR: as conclusões, a generalização de uma classe de problemas e a comunicação dos resultados.

### 6.1 FASE 10 – CONCLUSÕES

Primeiramente, com um olhar para o objetivo geral desta tese, conclui-se que há um Modelo Conceitual como produto. O modelo permite a análise de aspectos regulamentais no campo da Educação em Engenharia, para guiar o Núcleo Docente Estruturante na formulação de diretrizes estratégicas. A regulamentação envolve leis e resoluções que impactam na Educação em Engenharia. Estas foram apontadas como de grande importância para o projeto do artefato. Portanto, os professores podem conduzir o desenvolvimento de competências por meio das diretrizes resultantes da análise.

Além disso, o produto também aceita a investigação das Tecnologias Educacionais que suportam o corpo docente no desenvolvimento de atividades de engenharia para os seus estudantes. Das Tecnologias Educacionais que se destacaram como suporte aos professores são os softwares de simulação para engenharia. Este recurso permite aos docentes e estudantes compreenderem o mundo real por meio do virtual. Por outro lado, como apoio aos professores e estudantes, estão as salas de aulas inteligentes para aplicação das metodologias baseadas em aprendizagem ativa. Ambientes de aprendizagem flexíveis e inteligentes permitem ao curso de engenharia promover, além do ensino presencial, aulas simultâneas. Aquelas onde times híbridos, com estudantes dentro do ambiente de aprendizagem e outros à distância, aplicam o conhecimento propondo soluções para problemas e desafios reais de engenharia. Ou seja, salas que possuem conectividade, mas também leiautes flexíveis, *Smart TVs* e outras tecnologias. O Modelo Conceitual dá abertura para a exploração do melhor uso desses ambientes flexíveis de aprendizagem, gerando diretrizes, que também servem de guia ao corpo docente.

Ainda sobre a análise das Tecnologias Educacionais, são importantes aquelas que permitem o ensino híbrido e à distância. Portanto, softwares e aplicativos, salas de conferência, ambientes de simulação e realidade mista são exemplos de Tecnologias Educacionais, que por meio da análise, geram mais diretrizes direcionando os professores na Educação em Engenharia.

Outra tecnologia educacional de suporte são os sistemas de análise em tempo real. O Modelo Conceitual igualmente considera a análise desses sistemas, onde o NDE irá formular diretriz específica para o uso deles.

Agora, considerando que o Modelo Conceitual, da mesma forma, infere a análise de componentes e melhores práticas presentes na *Smart Education*, ele permite que metodologias baseadas em aprendizagem ativa sejam objeto de estudo. Aqui, se percebe a estreita relação da *Smart Education* com as Tecnologias Educacionais, pois as metodologias baseadas em aprendizagem ativa, necessitam muitas vezes de salas de aula inteligentes. Mas não somente isso, o corpo docente e a coordenação de curso podem usar ferramentas da *Smart Education* como suporte para a gestão inteligente. Tais ferramentas usam o aprendizado de máquina, a inteligência artificial e *dashboards* sobre os resultados de aprendizagem. Mais uma vez, nota-se a forte relação da *Smart Education* com as Tecnologias Educacionais. Logo, a formulação de diretrizes estratégicas, por meio do artefato, guia os professores para a adoção da *Smart Education* e das Tecnologias Educacionais. Contudo, é importante salientar que a *Smart Education* possui elo com as Tecnologias Educacionais. Sendo assim, se o pilar das Tecnologias Educacionais não existir, o da *Smart Education* ruí, fazendo cair por terra a Educação em Engenharia moderna.

Percebe-se ainda que a aliança da *Smart Education* com as Tecnologias Educacionais proporciona ambientes e condições para a formação de competências nos estudantes. Considerando o uso do Modelo Conceitual como ferramenta de suporte ao NDE, tem-se as diretrizes estratégicas para a formação de competências. Ou seja, espera-se que as competências de engenharia sejam formadas nos estudantes. Eles, por sua vez, poderão aplicar tais conhecimentos em situações-problema reais de engenharia. Almeja-se, também, a formação de habilidades profissionais nos estudantes, além das atitudes e valores pessoais. Isso vai ao encontro do que a Transformação Digital necessita: de conhecimento sobre as tecnologias trazidas pela Indústria 4.0 e de pessoas qualificadas profissionalmente e cidadãs, essenciais na Sociedade 5.0.

Ainda sobre a *Smart Education*, ela considera a aproximação da Sociedade e da Indústria em processos de melhoria contínua da Educação em Engenharia. Também é importante que participem do processo de formação dos estudantes fornecendo desafios e problemas reais de engenharia. E não menos importante, proporcionar mentoria aos estudantes, algo que vai além da sala de aula. O estudo sobre essa aproximação desses dois atores, por meio

do Modelo Conceitual, no processo de ensino produz diretrizes e fornece exemplos de aplicação aos professores.

Diante de toda a explicação acima, pode-se dizer que o Modelo Conceitual proposto é viável e possui consistência. Portanto, pode-se dizer que o objetivo específico 4 foi cumprido, uma vez que a maioria dos especialistas em Educação em Engenharia validaram o Sistema de Formulação de Diretrizes Estratégicas, mesmo que indiretamente. O SFDE foi implementado como artefato tecnológico a partir do projeto do Modelo Conceitual. Portanto, o Modelo Conceitual considera a análise da regulamentação, das Tecnologias Educacionais e da *Smart Education*, resultando em diretrizes estratégicas que concebem e atualizam cursos de engenharia, formando profissionais para enfrentar os desafios e oportunidades da Transformação Digital.

O Modelo Conceitual foi projetado com auxílio da metodologia *Lightweight CommonKADS*, mostrando ser uma boa ferramenta da Engenharia do Conhecimento (objetivo específico 2). A metodologia se mostrou eficaz como guia a aprendizes, devido a simplificação do tradicional *CommonKADS*. No caso do Modelo Conceitual, foi essencial na análise e organização do conhecimento em nível de contexto e conceito de um curso de engenharia.

Contudo, o entendimento do Modelo Conceitual seria de domínio de poucos especialistas em Engenharia e Gestão do Conhecimento. Sendo assim, o Modelo Conceitual foi implementado em uma plataforma computacional (objetivo específico 3), gerando um artefato tecnológico, batizado na presente tese de Sistema de Formulação de Diretrizes Estratégicas (SFDE). Isso permitiu que leigos em Engenharia e Gestão do Conhecimento, mas especialistas em Educação em Engenharia avaliassem a viabilidade e a consistência SFDE, e indiretamente o Modelo Conceitual. Portanto, o Modelo Conceitual é replicável em outras escolas de engenharia.

As conclusões sobre o objetivo específico 1 foram deixadas por último, devido à sua grande importância sobre os achados na revisão da literatura. O relacionamento entre a Educação 4.0 e a Educação em Engenharia trouxe importantes conceitos para a presente tese, mas para além dela.

A começar pelos princípios da *Smart Education*: de adaptação, percepção, inferência, antecipação, autoaprendizagem e auto-organização. Colocando um olhar sobre o método de tarefa do Modelo Conceitual, há elementos que podem ser correlacionados aos princípios da *Smart Education*. A Educação em Engenharia precisa se adaptar aos contextos em que está inserida. Isso se dará pela percepção das necessidades da Indústria e da Sociedade. A inferência

de “Analisar” do método de tarefa resulta nas diretrizes estratégicas que colaboram na antecipação para a formação de competências, considerando as necessidades da Transformação Digital. De certa forma, isso permite que um curso de engenharia tente se antecipar às futuras necessidades. O método de tarefa, com suas inferências de “Analisar” e “Desenvolver Competências” refletem na auto-organização de um curso de engenharia, enquanto a de “Medir” no autoaprendizado.

Adicionalmente, a Educação 4.0 aposta no uso de um sistema de aprendizado híbrido e inteligente, onde se considera a aproximação da Indústria e da Sociedade, por meio de seus especialistas. Essa aproximação é parte constituinte da *Smart Education*. Além disso, a Educação 4.0 adota as metodologias baseadas em aprendizagem ativa, especialmente as baseadas em desafios e projetos, que efetivamente aproximam a Sociedade e a Indústria, respectivamente. Entretanto, as Tecnologias Educacionais são obrigatórias na Educação 4.0, sejam para auxiliar diretamente no aprendizado dos estudantes de engenharia, ou indiretamente, como suporte à gestão de cursos de engenharia.

Complementarmente, a pesquisa com especialistas em Educação em Engenharia procurou também validar algumas afirmações encontradas na literatura: “A *Smart Education* é uma evolução do *e-Learning*.”; “O *e-Learning* tradicional transmite o conhecimento, mas não coloca o estudante para aplicar o conhecimento em situações reais” e “A *Smart Education* combina modernas tecnologias educacionais com Pedagogia Inteligente, ou seja, com metodologias baseadas em aprendizagem ativa para colocar o estudante em desafios e problemas reais de engenharia.” A maioria dos entrevistados concordou com essas afirmações. Mas é importante ressaltar que elas realmente serão verdadeiras, se as mudanças dos sistemas educacionais tradicionais forem efetivadas. Portanto, a Educação em Engenharia precisa ter olhar para as necessidades da Sociedade, com especial foco nas oportunidades e desafios da Transformação Digital. Um caminho para isso é o fortalecimento das parcerias entre universidades e empresas, que desafiará o ensino com situações-problema reais de engenharia. Desafios que são vencidos com a adoção das metodologias baseadas em aprendizagem ativa presentes na *Smart Education* aliadas às Tecnologias Educacionais para suportar o ensino em ambientes inteligentes de aprendizagem e apoiar a gestão acadêmica.

Enfim, aqui se reforça que os pilares, fortemente conectados, das Tecnologias Educacionais e da *Smart Education*, suportam a Educação em Engenharia, de forma a aprimorá-la e buscar pela transformação de estudantes em engenheiros competentes. E com o apoio do Modelo Conceitual desta tese, as escolas de engenharia podem analisar os elementos de cada

pilar para buscar a formação de profissionais que apliquem os conhecimentos de engenharia de forma profissional e como cidadãos no cenário da Transformação Digital.

### 6.1.1 Limitações e Trabalhos Futuros

O presente trabalho limitou-se a proposição e implementação de um Modelo Conceitual para a formulação de diretrizes estratégicas na concepção e atualização de cursos de engenharia, no contexto da Transformação Digital. Como Modelo Conceitual aplicado a cursos com horizonte de no mínimo 5 anos de duração, conforme a legislação de engenharia, não há como analisar resultados de formação de competências nos egressos, pois o horizonte é muito além do tempo da presente pesquisa. Sendo assim, como trabalho futuro, sugere-se que as competências dos engenheiros formados em escolas de engenharia, que usaram o Modelo Conceitual, sejam averiguadas.

Se as inferências de “Desenvolver Competências” e “Medir” forem fragmentadas, propõem-se refinar o Modelo Conceitual, considerando tal detalhamento. Eventualmente, pode-se verificar se diretrizes estratégicas são eficientes e eficazes no nível operacional da educação, ou seja, dentro da sala de aula. Por exemplo, verificar a efetividade da aplicação da aprendizagem baseada em desafios e projetos, com o apoio de mentores da Sociedade e da Indústria.

Dentro do campo da *Smart Education*, trabalhos futuros poderiam explorar a inferência de “Desenvolver Competências” de forma fragmentada. Ou seja, detalhar a inferência do Modelo Conceitual em mais inferências, ou até mesmo criar outros sistemas intensivos em conhecimento que suportem o desenvolvimento dos elementos de uma competência. Desta forma, pode-se sugerir o uso da Engenharia do Conhecimento para criar sistemas de conhecimento que abordem o ensino personalizado, com trilhas de aprendizagem ou maneiras que respeitem as particularidades de cada estudante. Sistemas intensivos em conhecimento poderiam ser propostos a partir do Modelo Conceitual para suportar curadorias individualizadas, assim como assistências e mentorias, que acabariam por personalizar a formação dos estudantes de engenharia. Ou ainda, promover a requalificação profissional daqueles que já estão inseridos no mercado de trabalho, mas precisam de atualização para enfrentar os desafios e oportunidades da Transformação Digital.

Ainda na *Smart Education*, a inferência de “Medir” poderia ser explorada para abrigar o conceito de *Smart Learning Analytics*, empoderando a gestão de cursos, professores e

estudantes. Ou seja, o conceito poderia compor um sistema intensivo em conhecimento acerca dos indicadores de desempenho, dos resultados de aprendizagem, dos elementos de competência e das competências de engenharia. Tal sistema poderia se antecipar sobre o desempenho dos estudantes, sugerindo “rotas” de correção da aprendizagem, evitando reprovações e colaborando para a redução de evasão. O sistema também se anteciparia a alertar professores e coordenações de cursos a criar planos de ação sempre em busca da melhoria contínua da Educação em Engenharia.

Eventualmente, as diretrizes estratégicas formuladas podem prever a formação docente. Um trabalho futuro poderia sugerir a adaptação do Modelo Conceitual para abrigar o treinamento de professores, antes ou paralelamente à inferência de “Desenvolver Competências”. Isso geraria, por exemplo, uma inferência de “Treinar Docentes”. E o conhecimento de domínio poderia conter as boas práticas aplicadas por centros de formação docente, como o *Center for Innovation in Teaching & Learning (CITL)* da *University of Illinois – Urbana-Champaign* (UIUC, [s.d.]). Um exemplo brasileiro é o Centro de Ensino e Aprendizagem (CrEARe) da PUCPR que atua na inovação educacional e formação continuada dos docentes (PUCPR, [s.d.]).

Outra limitação existente é que o modelo foi implementado em apenas uma plataforma computacional. Outra sugestão é verificar se o Modelo Conceitual é aplicável a outras plataformas computacionais. Por este caminho, abre-se oportunidades para eventuais cursos que não possuem acesso a plataforma Microsoft 365.

No campo da Engenharia do Conhecimento, uma sugestão é a aplicação da versão completa o *CommonKADS* no mesmo cenário da presente proposta de tese e verificar os impactos e resultados. Por exemplo, analisar se as redundâncias apontadas pelos autores da *Lightweight CommonKADs* realmente se fazem presentes.

Outra sugestão se refere a utilização de outras ferramentas para a Engenharia do Conhecimento no cenário para a Educação em Engenharia. Por exemplo, MOKA (*methodology and software tools oriented to knowledge-based engineering applications*), KAMET (*Knowledge acquisition, knowledge modeling and knowledge generation*) ou SPEDE (*Structured Process Elicitation and Demonstration Environment*).

## 6.2 FASE 11 – GENERALIZAÇÃO DE UMA CLASSE DE PROBLEMAS

A generalização de uma classe de problemas pode ser definida como a inexistência de ferramentas metodológicas que suportem a definição de diretrizes estratégicas na Educação em Engenharia, no nível de cursos de graduação. Logo, espera-se que o Modelo Conceitual para formulação de diretrizes estratégicas possa ser utilizado em escolas de engenharia que pretendem conceber ou atualizar os seus cursos de engenharia diante dos desafios e oportunidades presentes na era da Transformação Digital.

Por meio da análise da regulamentação afeta à Educação em Engenharia, das Tecnologias Educacionais e da *Smart Education* a gestão de cursos de engenharia, junto ao seus NDEs, poderão guiar o corpo docente à luz das diretrizes.

No caso de inexistência de processos de melhoria contínua internos, a gestão dos cursos pode utilizar métricas para analisar os resultados de aprendizagem e definir planos de ação, que se analisados pelo NDEs, formularão mais diretrizes.

## 6.3 FASE 12 – COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS

A comunicação dos resultados é importante para que eles efetivamente cheguem até as partes interessadas e aos que necessitam modernizar a Educação em Engenharia. Ela pode ser feita por meio de publicações em revistas, jornais, congressos e outros meios.

A principal publicação referente a esta tese foi realizada em um capítulo do livro *Reliability Modeling in Industry 4.0*, explicitando a revisão sistemática da literatura: *Digital Transformation of Engineering Education for Smart Education: A systematic literature review* (DIOGO; DOS SANTOS; LOURES, 2023).

Os primeiros resultados publicados, na verdade, se referem ao sub fenômeno da modernização da Educação em Engenharia no Brasil. Por meio dos Congressos Brasileiros de Educação em Engenharia de 2019, 2020 e 2021 (COBENGEs), as oito universidades participantes do PMG já puderam expor alguns resultados parciais. A primeira publicação resultante foi “Resumos da Sessão Especial sobre o Programa Brasil-Estados Unidos de modernização da educação superior (PMG – EUA), financiado pela CAPES e pela Comissão Fulbright” (LEIVA; SEABRA, 2019), com o resumo “Projeto Institucional de Modernização (PIM) da Engenharia de Controle e Automação da PUCPR” (DIOGO et al., 2019). Em seguida, um livro foi publicado pela ABENGE: “Planejamento e Primeiros Resultados dos Projetos

Institucionais de Modernização da Graduação em Engenharia” (LEIVA; SEABRA; OLIVEIRA, 2021). Neste livro há um capítulo com autoria do pesquisador da presente proposta de tese. Ele se chama “Projeto Institucional de Modernização da Engenharia de Controle e Automação da PUCPR” (DIOGO et al., 2021a).

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) também publicou um livro com os resultados parciais do PMG e outras universidades que tentam articular ações de integração ao Setor Produtivo (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2021). No capítulo 11, “Construção de Currículo por Competências nas Engenharias: lições aprendidas na PUCPR” (FERRETTI MANFFRA et al., 2021), também houve participação do pesquisador da presente proposta de tese.

Outros resultados também foram divulgados internacionalmente. Primeiro, o PMG foi apresentado com resumo estendido no *21st IEOM Global Engineering Education: “Modernization of Undergraduate Education Program (PMG)”* (DIOGO; LOURES; DOS SANTOS, 2021). Posteriormente, uma publicação online foi feita no *Global Engineer Bulletin da International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)* e do *Global Engineering Deans Council (GDEC): “Modernization of Undergraduate Education (PMG) in Brazil: starting with Engineering Education”* (DIOGO, 2021).

Os resultados acima foram importantes para a fase de identificação do problema (fase 1).

Um artigo foi apresentado no *2021 World Engineering Education Forum/Global Engineering Deans Council (WEEF/GEDC)*, chamado “*Real Engineering Problems in an Undergraduate Course: The learning methodologies and assessment tools*” (DIOGO et al., 2021b). Esta publicação pode ser encontrada na IEEE Xplore. Apesar de não ser diretamente relacionado ao artefato, a publicação serviu para alimentar o SFDE como exemplo de combinação dos *frameworks* CDIO e CBL, como ferramenta de metodologias baseadas em aprendizagem ativa.

Na mesma linha da publicação anterior, um segundo capítulo foi publicado no livro *Designing Smart Manufacturing Systems* chamado *Improving Brazilian Engineering Education: real engineering challenges in an IIoT undergraduate course* (DIOGO; LOURES; SANTOS, 2023).

Uma publicação que aproveita de conceitos encontrados na literatura e referente a um trabalho desenvolvido durante a pandemia do COVID também foi publicado em 2022 (com Qualis CAPES A2, na classificação 2013-2016): *A synchronous remote laboratory as an*

*alternative to mechatronics engineering practical classes during the covid-19 pandemic* (DIOGO et al., 2022). Esse artigo também serviu como referência para alimentar o SFDE.

E como publicação futura, a presente tese poderá ser sintetizada em forma de artigo, para publicação no 13º Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação (ciKi) a ser realizado em novembro de 2023.

## REFERÊNCIAS

- ACADEMIA NACIONAL DE ENGENHARIA. **Ensino em Engenharia: Avaliação e Perspectivas da ANE**. [s.l: s.n.].
- ADEKOLA, Josephine; DALE, Vicki H. M.; GARDINER, Kerr. Development of an institutional framework to guide transitions into enhanced blended learning in higher education. **Research in Learning Technology**, [S. l.], v. 25, p. 1–16, 2017. DOI: <https://doi.org/10.25304/rlt.v25.1973>.
- AIRES, Regina Wundrack do Amaral. **Desenvolvimento de Competências Gerais para a Sociedade em Transformação Digital: uma Trilha de Aprendizagem para profissionais do setor industrial**. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2020. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/?p=3028>.
- ALVES, Anabela C.; LEÃO, Celina P.; UEBE-MANSUR, André F.; KURY, M. Inês R. A. The knowledge and importance of Lean Education based on academics' perspectives: an exploratory study. **Production Planning and Control**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020. DOI: 10.1080/09537287.2020.1742371. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1742371>.
- APPLE. Challenge Based Learning: A Classroom Guide. **Apple Inc**, [S. l.], p. 1–40, 2010.
- ASSANTE, Dario; CAFORIO, Alessandro; FLAMINI, Marta; ROMANO, Elpidio. Smart education in the context of industry 4.0. **IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON**, [S. l.], v. April-2019, p. 1140–1145, 2019. DOI: 10.1109/EDUCON.2019.8725057.
- AZEEZ, Nureni Ayofe; VAN DER VYVER, Charles. Digital Education: Assessment of e-Learning and m-Learning Adoption in Tertiary Institutions in South Africa. In: 2018 IEEE CONFERENCE ON E-LEARNING, E-MANAGEMENT AND E-SERVICES (IC3E) 2018, Langkawi. **Anais [...]**. Langkawi: IEEE, 2018. p. 23–28. DOI: 10.1109/IC3e.2018.8632654.
- BAE, Yoonsun; WOO, Sungkwon. Study of Satisfaction Levels on Construction Engineering Education in Cyber University and Its Improvements. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 499–506, 2019. DOI: 10.1007/s12205-018-1552-y.
- BALLADARES-BURGOS, Jorge Antonio. Diseño pedagógico de la educación digital para la formación del profesorado Instructional design of digital education for teacher training. **Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 41–60, 2018. DOI: 10.17398/1695-288X.17.1.41. Disponível em: <http://dx.medra.org/10.17398/1695-288X.17.1.41>.
- BARBOSA, Gabriela da Rocha; OLIVEIRA, Cláudio Celso Soares. **Relatório Técnico DAV. Egressos da pós-graduação: áreas estratégicas**Capex. [s.l: s.n.].
- BASTIAN, Sue; KITCHING, Julian; SIMS, Ric. **Theory of Knowledge for the IB Diploma: TOK for the IB Diploma**. 3rd. ed. [s.l.] : Pearson Education Limited, 2020.
- BEANLAND, David; HADGRAFT, Roger. **Engineering Education: Transformation and Innovation**. Melbourne.

BELLATO, Rita Lucia. **Percepções Sobre as Competências Digitais para os Profissionais da Área de Contabilidade: Um Estudo de Caso**. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2021. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/?p=3146>.

BERMAN, Saul J. Digital transformation: Opportunities to create new business models. **Strategy and Leadership**, [S. l.], v. 40, n. 2, p. 16–24, 2012. DOI: 10.1108/10878571211209314.

BHARADWAJ, Anandhi; EL SAWY, Omar E.; PVLOU, Paul A.; VENKATRAMAN, N. Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. **MIS Quarterly**, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 471–482, 2013. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i10.20.

BORG, Jessica; SCOTT-YOUNG, Christina M.; TURNER, Michelle. Smarter education: Leveraging stakeholder inputs to develop work ready curricula. *In*: USKOV, Vladimir L.; HOWLETT, Robert J.; JAIN, Lakhmi C. (org.). **Smart Innovation, Systems and Technologies**. [s.l.] : Springer, Singapore, 2019. p. 51–61. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8260-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8260-4_5).

BRANCO, ALESSANDRA ROSA. O Perfil Das Universidades Corporativas No Brasil. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 99–120, 2006. DOI: 10.1590/1678-69712006/administracao.v7n4p99-120.

BRASIL. **Perspectivas de especialistas sobre a manufatura avançada no brasil - 2016**. [s.l: s.n.].

BRASIL. **Estratégia Brasileira para a Transformação Digital**. [s.l: s.n.].

BRASIL. RESOLUÇÃO Nº 2, DE 24 DE ABRIL DE 2019, Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia2019a. p. 1–6.

BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia **Ministério da Educação - Conselho Nacional de Educação - Câmara de Educação Superior**, 2019b. Seção Resolução nº2, de 24 de Abril de 2019, p. 1–6.

BRASIL. **Agenda brasileira para a Indústria 4.0**. 2020. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 24 abr. 2020.

BRASIL, “Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira”. Instrumento de avaliação de cursos de graduação presencial e a distância: reconhecimento e renovação de conhecimento. **Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira**, [S. l.], 2017. b. Disponível em: [http://download.inep.gov.br/educacao\\_superior/avaliacao\\_cursos\\_graduacao/instrumentos/2017/curso\\_reconhecimento.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_superior/avaliacao_cursos_graduacao/instrumentos/2017/curso_reconhecimento.pdf).

BRESOLIN, Graziela Grandó. **Modelo Andragógico de Plano de Aula à Luz das Teorias de Aprendizagem Experiencial e Expansiva**. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2020. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/?p=2935>.

BUGHIN, Jacques; SEONG, Jeongmin; MANYIKA, James; FRANCISCO, San; HÄMÄLÄINEN, Lari; WINDHAGEN, Eckart; HAZAN, Eric. **Notes From the AI Frontier**:

**Tackling Europe's Gap in Digital and AI.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: [www.mckinsey.com/mgi](http://www.mckinsey.com/mgi).

CAIRD, Sally; LANE, Andy. Conceptualising the role of information and communication technologies in the design of higher education teaching models used in the UK. **British Journal of Educational Technology**, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 58–70, 2015. DOI: 10.1111/bjet.12123. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/bjet.12123>.

CAPES-CNE-COMISSÃO FULBRIGHT. Programa Brasil-Estados Unidos de Modernização da Educação Superior na Graduação (PMG - EUA) - Edital nº 23/2018. [S. l.], p. 1–17, 2018. Disponível em: [https://www.capes.gov.br/images/stories/download/editais/11062018-Edital\\_23\\_PMG\\_EUA2.pdf](https://www.capes.gov.br/images/stories/download/editais/11062018-Edital_23_PMG_EUA2.pdf).

CARVALHO ALVES, Anabela; SOUSA, Rui; DINIS-CARVALHO, José; MOREIRA, Francisco. Lean Education at University of Minho: Aligning and Pulling the Right Requirements Geared on Competitive Industries. In: CARVALHO ALVES, Anabela; FLUMERFELT, Shannon; KAHLEN, Franz-Josef (org.). **Lean Education: An Overview of Current Issues**. [s.l.] : Springer, Cham, 2016. p. 149–175. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45830-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45830-4_10). Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45830-4\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45830-4_10).

CASTAÑEDA, Linda; SELWYN, Neil. More than tools? Making sense of the ongoing digitizations of higher education. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2018. DOI: 10.1186/s41239-018-0109-y.

CEBRIÁN, Gisela; PALAU, Ramon; MOGAS, Jordi. The smart classroom as a means to the development of ESD methodologies. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 7, p. 2005–2014, 2020. DOI: 10.3390/su12073010.

CN-DCNS. **Relatório Síntese Comissão Nacional para Implantação das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (CN-DCNs)**. [s.l.: s.n.].

CNI; SESI; SENAI; INSTITUTO EUVALDO LODI. **O futuro da formação em engenharia: uma articulação entre as demandas empresariais e as boas práticas nas universidades**. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2021. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2021/6/o-futuro-da-formacao-em-engenharia-uma-articulacao-entre-demandas-empresariais-e-boas-praticas-nas-universidades/>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **O Futuro da Formação em Engenharia: uma articulação entre as demandas empresariais e as boas práticas nas universidades**. Brasília: CNI, 2021. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2021/6/o-futuro-da-formacao-em-engenharia-uma-articulacao-entre-demandas-empresariais-e-boas-praticas-nas-universidades/>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Competitividade Brasil 2021-2022**. Brasília. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/competitividade-brasil-comparacao-com-paises-selecionados/>.

CONTELL, Jeremías P.; DÍAZ, Oscar; VENABLE, John R. DScaffolding: A Tool to Support Learning and Conducting Design Science Research. In: (Alexander Maedche, Jan vom Brocke, Alan Hevner, Org.) **DESIGNING THE DIGITAL TRANSFORMATION 2017**, Cham. **Anais**

[...]. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 441–446.

COSTA, Rejane. **Modelo de Competências Docentes em Universidades Inovadoras Brasileiras Públicas**. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2021. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/?p=3165>.

CRAWLEY, Edward F. **The CDIO Syllabus: A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education**. CDIOUSACDIO, , 2001. DOI: 10.1.1.34.1082.

CRAWLEY, Edward F.; LUCAS, William A.; MALMQVIST, Johan; BRODEUR, Doris R. The CDIO Syllabus v2.0: An Updated Statement of Goals for Engineering EducationB. *In: PROCEEDINGS OF THE 7TH INTERNATIONAL CDIO CONFERENCE 2011*, Copenhagen. **Anais [...]**. Copenhagen: CDIO, 2011.

CREA-PR. Educação por um triz!: Um olhar sobre a redução de procura por cursos das Engenharias, Agronomia e Geociências e a evasão no Brasil. **Revista CREA-PR**, [S. l.], 2023. a. Disponível em: <https://revista.crea-pr.org.br/educacao-por-um-triz/>.

CREA-PR. Educação por um triz!: Um olhar sobre a redução de procura por cursos das Engenharias, Agronomia e Geociências e a evasão no Brasil. **Revista CREA-PR**, [S. l.], 2023. b.

DANILOV, Andrew V.; SALEKHOVA, Leila L.; TURSUNOVA, Nigina B.; ANYAMELUHOR, Nnamdi. Digitalisation trends and blended learning visualisation in modern digital education. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 5109–5111, 2019. DOI: 10.35940/ijitee.A9207.119119.

DAS, Shuvra; KLEINKE, Darrell K.; PISTRUI, David. Reimagining Engineering Education: Does Industry 4.0 Need Education 4.0? *In: ASEE'S VIRTUAL CONFERENCE 2020*, **Anais [...]**. : ASEE, 2020.

DELGADO KLOOS, Carlos; RODRIGUEZ, Pilar; VELAZQUEZ-ITURBIDE, Angel; GIL, Manuel Castro; FERNANDEZ-MANJON, Baltasar; TOVAR, Edmundo. Digital education in the classroom. **IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON**, [S. l.], n. April, p. 31–32, 2017. DOI: 10.1109/EDUCON.2017.7942818.

DELOITTE. **Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies**Deloitte. [s.l: s.n.].

DÍAZ, Oscar. **Design Science Research: A Personal Journey**. San Sebastián: University of the Basque Country, 2017.

DINIZ, Márcia Jucá Teixeira; DINIZ, Marcelo Bentes; DE ALMEIDA, Leandro Morais; CRUZ, Phelipe André Matos; FERREIRA E SILVA, André Luiz. A Importância das Universidades (Federais) para os Sistemas Hélices: o caso da Universidade Federal do Pará. *In: IV ENEI ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA INDUSTRIAL E INOVAÇÃO 2019*, Campinas. **Anais [...]**. Campinas p. 1–24.

DIOGO, Ricardo A.; DOS SANTOS, Neri; LOURES, Eduardo F. R. 13 - Digital Transformation of Engineering Education for Smart Education: A systematic literature review.

*In*: RAM, Mangey; XING, Liudong (org.). **Reliability Modeling in Industry 4.0**. Advances in Reliability Science 1st. ed. Amst: Elsevier, 2023. p. 407–438. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99204-6.00002-9>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323992046000029>.

DIOGO, Ricardo Alexandre. **Modernization of Undergraduate Education (PMG) in Brazil: starting with Engineering Education**. 2021. Disponível em: <https://www.gedcouncil.org/ge/modernization-of-undergraduate-education-pmg-in-brazil-starting-with-engineering-education/>.

DIOGO, Ricardo Alexandre; DONAISKY, Emerson; PIEREZAN, Rodrigo; MALUCELLI, Andreia; SZEJKA, Anderson Luis; DESCHAMPS, Fernando. Projeto Institucional de Modernização (PIM) da Engenharia de Controle e Automação da PUCPR. *In*: **Resumos da Sessão Especial sobre o Programa Brasil-Estados Unidos de modernização da educação superior (PMG – EUA), financiado pela CAPES e pela Comissão Fulbright**. Fortaleza: ABENGE, 2019.

DIOGO, Ricardo Alexandre; KOLBE JÚNIOR, Armando; LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; DOS SANTOS, Neri. A synchronous remote laboratory as an alternative to mechatronics engineering practical classes during the covid-19 pandemic. **International Journal of Development Research**, [S. l.], v. 12, p. 56656–56661, 2022. Disponível em: <https://www.journalijdr.com/synchronous-remote-laboratory-alternative-mechatronics-engineering-practical-classes-during-covid-19>.

DIOGO, Ricardo Alexandre; LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; DOS SANTOS, Neri. Modernization of Undergraduate Education Program (PMG). *In*: PROCEEDINGS OF THE 2ND SOUTH AMERICAN INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT 2021, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: IEOM, 2021.

DIOGO, Ricardo Alexandre; LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; SANTOS, Neri. Improving Brazilian Engineering Education: real engineering challenges in an IIoT undergraduate course. *In*: HUSSAIN, Chaudhery Mustansar; ROSSIT, Daniel (org.). **Designing Smart Manufacturing Systems**. 1st. ed. [s.l.] : Elsevier, 2023. Disponível em: <https://www.elsevier.com/books/designing-smart-manufacturing-systems/hussain/978-0-323-99208-4>.

DIOGO, Ricardo Alexandre; SZEJKA, Anderson Luis; VENÂNCIO, André Luiz Alcântara Castilho; DONAISKY, Emerson; PIEREZAN, Rodrigo; LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; MALUCELLI, Andreia. Projeto Institucional de Modernização da Engenharia de Controle e Automação da PUCPR. *In*: **Planejamento e Primeiros Resultados dos Projetos Institucionais de Modernização da Graduação em Engenharia (2019/20)**. Brasília: ABENGE, 2021. a.

DIOGO, Ricardo Alexandre; VENÂNCIO, André Luiz Alcântara Castilho; SANTOS, Maria Angela Roveredo; LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; DOS SANTOS, Neri. Real Engineering Problems in an Undergraduate Course: The learning methodologies and assessment tools. *In*: WORLD ENGINEERING EDUCATION FORUM 2021b, Madrid. **Anais [...]**. Madrid: IEEE, 2021.

DNEPROVSKAYA, Natalia V.; SHEVTSOVA, Inessa V. The Knowledge Management System Development for Smart Education. **Proceedings of the 2018 International Conference “Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies”**, *IT and QM and IS 2018*, [S. l.], p. 602–606, 2018. DOI: 10.1109/ITMQIS.2018.8525129.

DNEPROVSKAYA, Natalia V; KOMLEVA, Nina V; URINTSOV, Arkadiy I. The Knowledge Management Approach to Digitalization of Smart Education. *In: (Zhengbing Hu, Sergey V. Petoukhov, Matthew He, Org.)AIMEE2018 2018: ADVANCES IN ARTIFICIAL SYSTEMS FOR MEDICINE AND EDUCATION II 2019*, Moscow. **Anais [...]**. Moscow: Springer, Cham, 2019. p. 641–650. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-12082-5\\_58](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12082-5_58). Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-12082-5>.

DOĞAN, Buket; DEMIR, Önder; ÜLKÜ, Eyüp E. Applying social networks to engineering education. **Computer Applications in Engineering Education**, [S. l.], v. 26, n. 5, p. 1782–1791, 2018. DOI: 10.1002/cae.21975.

DRESCH, Aline; PACHECO, Daniel Lacerda; VALLE ANTUNES, José Antônio. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. [s.l.] : Springer International Publishing, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-07374-3. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9783319073736>.

ELSAADANY, Amr; ABBAS, Karim. Development and implementation of e-learning system in smart educational environment. **2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2016 - Proceedings**, [S. l.], p. 1004–1009, 2016. DOI: 10.1109/MIPRO.2016.7522286.

ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. **Orientações para elaboração dos artigos científicos do LabMCDA-C**. FlorianópolisUFSC, , 2007.

FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH. **ELLI2: Excellent Teaching and Learning in Engineering Science**. 2020. Disponível em: <https://www.elli-online.net/en/home.html>. Acesso em: 11 nov. 2021.

FERRAZ, Tatiana Gesteira de Almeida; MINHO, Marcelle Rose da Silva; ARAÚJO, Rafael Gonçalves Bezerra De; LORDELO, Sayonara Nobre de Brito; NOGUEIRA, Tarso Barreto Rodrigues. Experiências do SENAI-CIMATEC na reformulação da graduação em Engenharia: do desenho curricular à avaliação da aprendizagem. *In: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (org.). O futuro da formação em engenharia : uma articulação entre as demandas empresariais e as boas práticas nas universidades*. 1. ed. Brasília: CNI, 2021.

FERRETTI MANFFRA, Elisangela; VALENGA, Francine; DIOGO, Ricardo Alexandre; BERTIN, Ricardo José; FRANCESCONI, Tiago; MALUCELLI, Andreia. Construção de Currículo por Competências nas Engenharias: lições aprendidas na PUCPR. *In: O futuro da formação em engenharia : uma articulação entre as demandas empresariais e as boas práticas nas universidades*. Brasília: CNI, 2021. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2021/6/o-futuro-da-formacao-em-engenharia-uma-articulacao-entre-demandas-empresariais-e-boas-praticas-nas-universidades/>.

FINELLI, Cynthia J.; BORREGO, Maura; RASOULIFAR, Golnoosh. Development of a

Taxonomy of Keywords for Engineering Education Research Introduction. **Journal of Engineering Education**, [S. l.], v. 104, n. 4, p. 365–387, 2015. DOI: 10.1002/jee.20101. Disponível em: <http://wileyonlinelibrary.com/journal/jee>.

FISK, Peter. **Education 4.0 ... the future of learning will be dramatically different, in school and throughout life**. 2017. Disponível em: <https://www.peterfisk.com/2017/01/future-education-young-everyone-taught-together/>.

FITZGERALD, Michael; KRUSCHWITZ, Nina; BONNET, Didier; WELCH, Michael. Embracing Digital Technology: A New Strategic Imperative | Capgemini Consulting Worldwide. **MIT Sloan Management Review**, [S. l.], v. 55, n. 1, p. 1–13, 2013. Disponível em: <https://www.capgemini-consulting.com/SMR>.

FRANK, Alejandro G.; AYALA, Néstor F.; BENITEZ, Guilherme Brittes; MARCON, Érico; LERMAN, Laura Visistainer. **Profissões Emergentes na Era Digital: Oportunidades e desafios na qualificação profissional para uma recuperação verde - Panorama do Brasil**. Bras. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2021/7/profissoes-emergentes-na-era-digital-oportunidades-e-desafios-na-qualificacao-profissional-para-uma-recuperacao-verde/>.

FULBRIGHT BRASIL. **Modernization of Undergraduate Education (PMG)**. 2018. Disponível em: <https://fulbright.org.br/special-project/modernization-of-undergraduate-education-program/>.

GARCIA, RENATO; RAPINI, MÁRCIA; CÁRIO, Silvio (Org. .. **Ncia De**. [s.l: s.n.].

GARCIA, Rodrigo Guerra. **O estudo exploratório do uso da realidade aumentada no período de pandemia da Covid-19 nos ensinos fundamental e médio**. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2021. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/?p=3266>.

GENTÈS, Annie; CAMBONE, Marie. Designing empathy: The role of a “control room” in an e-learning environment. **Interactive Technology and Smart Education**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 31–48, 2013. DOI: 10.1108/17415651311326437.

GIANESI, Irineu. Os cursos de Engenharia no INSPER. In: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (org.). **O futuro da formação em engenharia : uma articulação entre as demandas empresariais e as boas práticas nas universidades**. Brasília: CNI, 2021.

GLUKHOV, V. V.; VASETSKAYA, N. O. Improving the teaching quality with a smart-education system. **Proceedings of 2017 IEEE 6th Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations), SPUE 2017**, [S. l.], v. 2018- Janua, p. 17–21, 2017. DOI: 10.1109/IVForum.2017.8245958.

GODWIN, Allison; POTVIN, Geoff. Pushing and Pulling Sara: A Case Study of the Contrasting Influences of High School and University Experiences on Engineering Agency, Identity, and Participation. **Journal of Research in Science Teaching**, [S. l.], v. 54, n. 4, p. 439–462, 2017. DOI: 10.1002/tea.21372.

GOMES JR, Waldoir Valentim. **Gestão do Conhecimento e Mapeamento de Competências: Um Estudo de Caso**. 2013. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2013.

GRAHAM, Ruth. **The global state of the art in engineering education**. Cambridge. Disponível em: <https://jwel.mit.edu/assets/document/global-state-art-engineering-education>.

GUENTHER, Milan. 3 - The Design-Minded Enterprise. *In*: GUENTHER, Milan (org.). **Intersection**. Boston: Morgan Kaufmann, 2013. p. 62–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-388435-0.50003-2>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123884350500032>.

HAERTEL, Tobias; TERKOWSKY, Claudius; JAHNKE, Isa. Where have all the inventors gone? Is there a lack of spirit of research in engineering education curricula? *In*: 2012 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE COLLABORATIVE LEARNING (ICL) 2012, Villach. **Anais [...]**. Villach: IEEE, 2012.

HARTONO, Sugiarto; KOSALA, Raymond; SUPANGKAT, Suhono Harso; RANTI, Benny. Smart Hybrid Learning Framework Based on Three-Layer Architecture to Bolster Up Education 4.0. *In*: PROCEEDING - 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ICT FOR SMART SOCIETY: INNOVATION TOWARD SMART SOCIETY AND SOCIETY 5.0, ICISS 2018 2018, **Anais [...]**. : IEEE, 2018. p. 1–5. DOI: 10.1109/ICTSS.2018.8550028. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8550028>.

HENDERSON, Michael; SELWYN, Neil; ASTON, Rachel. What works and why? Student perceptions of ‘useful’ digital technology in university teaching and learning. **Studies in Higher Education**, *[S. l.]*, v. 42, n. 8, p. 1567–1579, 2017. DOI: 10.1080/03075079.2015.1007946.

HENLY, C. P.; SPRAGUE, J. **Theory of Knowledge for the IB Diploma: Teaching for Success**. [s.l.] : Hodder Education, 2020. a. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=IaPsDwAAQBAJ>.

HENLY, C. P.; SPRAGUE, J. **Theory of Knowledge for the IB Diploma: Teaching for Success**. [s.l.] : Hodder Education, 2020. b.

HENNING, KAGERMANN. WOLFGANG, WAHLSTER. JOHANNES, Helbig. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 WG**. [s.l: s.n.]. DOI: 10.13140/RG.2.1.1205.8966.

HENRIETTE, Emily; FEKI, Mondher; BOUGHZALA, Imed. A systematic literature review of digital transformation. *In*: MCIS 2015 PROCEEDINGS 2015, Samos. **Anais [...]**. Samos: AISeL, 2015. p. 1–13.

HESS, Thomas; BENLIAN, Alexander; MATT, Christian; WIESBÖCK, Florian. How German Media Companies Defined Their Digital Transformation Strategies. **MIS Quarterly Executive**, *[S. l.]*, v. 15, n. 2, p. 103–119, 2016.

HEYDORN, W.; JESUDASON, S. **Decoding Theory of Knowledge for the IB Diploma**. [s.l.] : Cambridge University Press, 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=6QDqPIsiEXEC>.

HORLACH, Bettina; DREWS, Paul; SCHIRMER, Ingrid; BÖHMANN, Tilo. Increasing the agility of it delivery: Five types of bimodal IT organization. *In*: PROCEEDINGS OF THE

ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES 2017, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] p. 5420–5429. DOI: 10.24251/HICSS.2017.656. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10125/41818>.

HWANG, Ching-Lai; YOON, Kwangsun. Methods for Multiple Attribute Decision Making. *In: HWANG, Ching-Lai; YOON, Kwangsun (org.). **Multiple Attribute Decision Making***. Berlin, Heidelberg: Springer, 1981. p. 58–191. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3).

IPEK, Ismail; ZIATDINOV, Rushan. New approaches and trends in the philosophy of educational technology for learning and teaching environments. **European Journal of Contemporary Education**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 381–389, 2017. DOI: 10.13187/ejced.2017.3.381.

IVI. **Strategic implementation framework of industrial value chain for connected industries**. Tokyo. Disponível em: [https://iv-i.org/wp/wp-content/uploads/2018/04/IVRA-Next\\_en.pdf](https://iv-i.org/wp/wp-content/uploads/2018/04/IVRA-Next_en.pdf).

JOHRI, Aditya; OLDS, Barbara M. Situated Engineering Learning : Bridging Engineering Education Research. **Journal of Engineering Education**, [S. l.], v. 100, n. 1, p. 151–185, 2011.

KAAR, Claudia; STARY, Christian. Structuring Academic Education in Makerspaces: Consolidated Findings from the Field. *In: 2019 IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON) 2019, Dubai. **Anais** [...]*. Dubai: IEEE, 2019. p. 920–927.

KALLEL, Ilhem; CHNITER, Malak. Building Collaborative e-Learning Teams in a Smart Education Environment. *In: 5TH IEEE INTERNATIONAL SMART CITIES CONFERENCE (ISC2 2019) 2019, Casablanca. **Anais** [...]*. Casablanca: IEEE, 2019. p. 324–329.

KARABULUT-ILGU, Aliye; JARAMILLO CHERREZ, Nadia; JAHREN, Charles T. A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education. **British Journal of Educational Technology**, [S. l.], v. 49, n. 3, p. 398–411, 2018. DOI: 10.1111/bjet.12548.

KARAGIANNAKI, Angeliki; VERGADOS, Georgios; FOUSKAS, Konstantinos. The Impact of Digital Transformation In The Financial Services Industry: Insights From an Open Innovation Initiative in Fintech in Greece. *In: MCIS 2017 PROCEEDINGS 2017, **Anais** [...]*. [s.l: s.n.]

KILANI, Mohamed; TORABI, Korosh; MAO, Guangzhao. Application of virtual laboratories and molecular simulations in teaching nanoengineering to undergraduate students. **Computer Applications in Engineering Education**, [S. l.], v. 26, n. 5, p. 1527–1538, 2018. DOI: 10.1002/cae.21940. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cae.21940>.

KNOX, Jeremy. Artificial intelligence and education in China. **Learning, Media and Technology**, [S. l.], v. 45, n. 3, p. 298–311, 2020. DOI: 10.1080/17439884.2020.1754236. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1754236>.

KORABLEVA, Olga; DURAND, Thomas; KALIMULLINA, Olga; STEPANOVA, Irina.

Studying user satisfaction with the MOOC platform interfaces using the example of coursera and open education platforms. **ACM International Conference Proceeding Series**, [S. l.], p. 26–30, 2019. DOI: 10.1145/3322134.3322139.

KRIVOVA, Lyudmila; MOLDOVANOVA, Evgeniia; MITCHELL, Peter J.; SULAYMANOVA, Venera; ZOLNIKOV, Konstantin. Towards Smart Education and Lifelong Learning in Russia. *In*: USKOV, Vladimir L.; BAKKEN, Jeffrey P.; HOWLETT, Robert J.; JAIN, Lakhmi C. (org.). **Smart Universities. SEEL 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies**. Vilamoura: Springer, Cham, 2017. p. 357–383. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59454-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59454-5_12). Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-59454-5\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-59454-5_12).

KROUSKA, Akrivi; TROUSSAS, Christos; VIRVOU, Maria. SN-Learning: An exploratory study beyond e-learning and evaluation of its applications using EV-SNL framework. **Journal of Computer Assisted Learning**, [S. l.], v. 35, n. 2, p. 168–177, 2019. DOI: 10.1111/jcal.12330. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jcal.12330>.

LEIVA, Daniel Rodrigo; SEABRA, Antonio Carlos. Resumos da Sessão Especial sobre o Programa Brasil-Estados Unidos de modernização da educação superior na graduação ( PMG - EUA ), financiado pela CAPES e pela Comissão Fulbright. **Cobenge**, [S. l.], 2019.

LEIVA, Daniel Rodrigo; SEABRA, Antonio Carlos; OLIVEIRA, Vanderli Fava De. **Planejamento e Primeiros Resultados dos Projetos Institucionais de Modernização da Graduação em Engenharia**. Brasília: ABENGE, 2021.

LIAO, Yongxin; DESCHAMPS, Fernando; LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; RAMOS, Luiz Felipe Pierin. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, [S. l.], v. 55, n. 12, p. 3609–3629, 2017. DOI: 10.1080/00207543.2017.1308576.

LIERE-NETHELER, Kirsten; PACKMOHR, Sven; VOGELSANG, Kristin. Drivers of Digital Transformation in Manufacturing. *In*: PROCEEDINGS OF THE 51ST HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES 2018, **Anais [...]**. [s.l: s.n.] p. 3926–3935. DOI: 10.24251/hicss.2018.493.

LIU, Day Yang; CHEN, Shou Wei; CHOU, Tzu Chuan. Resource fit in digital transformation: Lessons learned from the CBC Bank global e-banking project. **Management Decision**, [S. l.], v. 49, n. 10, p. 1728–1742, 2011. DOI: 10.1108/00251741111183852.

LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; ANDRADE, José Mauricio Mottin De; SZEJKA, Anderson Luis; CANGIOLIERI, Osiris. **PROTOLIT - Processo de Tomada de Decisão Multi-critério em Revisão Sistemática da Literatura em Pesquisas Científicas**, BR 51 2020 001401 1, 2020.

LUNA-REYES, Luis F.; GIL-GARCIA, J. Ramon. Digital government transformation and internet portals: The co-evolution of technology, organizations, and institutions. **Government Information Quarterly**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 545–555, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2014.08.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740624X14001257>.

LYDON, Bill. Industry 4.0: Intelligent and flexible production. **InTech**, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://www.isa.org/intech/20160601/>.

MACGILCHRIST, Felicitas; ALLERT, Heidrun; BRUCH, Anne. Students and society in the 2020s. Three future ‘histories’ of education and technology. **Learning, Media and Technology**, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 76–89, 2020. DOI: 10.1080/17439884.2019.1656235.

MAKAROVA, Irina; SHUBENKOVA, Ksenia; ANTOV, Dago. Digitalization of Engineering Education: From E-Learning to Smart Education. *In*: AUER, Michael E.; LANGMANN, Reinhard (org.). **Smart Industry & Smart Education**. [s.l.] : Springer, Cham, 2019. p. 32–41. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95678-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95678-7_4). Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95678-7\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95678-7_4).

MAKAROVA, Irina; SHUBENKOVA, Ksenia; PASHKEVICH, Anton. Blended learning technologies in the automotive industry specialists’ training. *In*: 2018 32ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INFORMATION NETWORKING AND APPLICATIONS WORKSHOPS (WAINA) 2018, 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). **Anais [...]**. 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA): IEEE, 2018. p. 319–324. DOI: 10.1109/WAINA.2018.00105.

MARTÍN-LARA, M. A. Integrating entrepreneurial activities in chemical engineering education: a case study on solid waste management. **European Journal of Engineering Education**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1080/03043797.2019.1691155.

MARUTSCHKE, Daniel Moritz; KRYSSANOV, Victor; CHAMINDA, Hapugahage Thilak; BROCKMANN, Patricia. Smart Education in an Interconnected World: Virtual, Collaborative, Project-Based Courses to Teach Global Software Engineering. *In*: USKOV, Vladimir L.; HOWLETT, Robert J.; JAIN, Lakhmi C. (org.). **Smart Education and e-Learning 2019**. [s.l.] : Springer, 2019. v. 144p. 39–49. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8260-4>.

MATKOVIC, Predrag; TUMBAS, Pere; MARIC, Mirjana; RAKOVIC, Lazar. Digital Transformation of Research Process At Higher Education Institutions. *In*: PROCEEDINGS OF INTED2018 CONFERENCE 2018, Valencia. **Anais [...]**. Valencia p. 9467–9472. DOI: 10.21125/inted.2018.2344.

MAY, Dominik; OSSENBERG, Philipp. Modelling Competences: Developing a holistic competence model for engineering education. *In*: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE COLLABORATIVE LEARNING (ICL) 2014, Dubai. **Anais [...]**. Dubai: IEEE, 2014. p. 936–944.

MAY, Dominik; TEKKAYA, A. Erman. The globally competent engineer: What different stakeholders say about educating engineers for a globalized world. *In*: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE COLLABORATIVE LEARNING (ICL) 2014, Dubai. **Anais [...]**. Dubai: IEEE, 2014. p. 924–930. DOI: 10.1109/ICL.2014.7017898.

MAY, Dominik; WOLD, Kari; MOORE, Stephanie. Using interactive online role-playing simulations to develop global competency and to prepare engineering students for a globalised world. **European Journal of Engineering Education ISSN:**, [S. l.], v. 40, n. 5, p. 522–545, 2015. DOI: 10.1080/03043797.2014.960511. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/03043797.2014.960511>.

MEC; INEP. **Censo da Educação Básica 2020 - Resumo Técnico Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas\\_e\\_indicadores/resumo\\_tecnico\\_censo\\_escolar\\_2020.pdf](https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2020.pdf).

MERGEL, Ines; EDELMANN, Noella; HAUG, Nathalie. Defining digital transformation: Results from expert interviews. **Government Information Quarterly**, [S. l.], v. 36, n. 4, p. 101385, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.06.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740624X18304131>.

MERZON, Elena E.; IBATULLIN, Rinat R. The Knowledge Management System Development for Smart Education. **Application of Information and Communication Technologies, AICT 2016 - Conference Proceedings**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1109/ICAICT.2016.7991809.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia **Diário Oficial da União de 23/4/2019**, Brasil, 2019. Seção 1, p. 109. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=109871-pces001-19-1&category\\_slug=marco-2019-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=109871-pces001-19-1&category_slug=marco-2019-pdf&Itemid=30192).

MITROFANOVA, Yana S.; SHERSTOBITOVA, Anna A.; FILIPPOVA, Olga A. Modeling smart learning processes based on educational data mining tools. In: USKOV, Vladimir L.; HOWLETT, Roberto J.; JAIN, Lakhmi C. (org.). **Smart Education and e-Learning 2019**. Singapore: Springer, Cham, 2019. p. 561–571. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8260-4>.

MOHAMED, Shaikha Saleh; AL BARGHUTHI, Nedaa Baker; SAID, Huwida. An Analytical Study Towards the UAE Universities Smart Education Innovated Approaches. **Proceedings - 2017 IEEE 19th Intl Conference on High Performance Computing and Communications, HPCC 2017, 2017 IEEE 15th Intl Conference on Smart City, SmartCity 2017 and 2017 IEEE 3rd Intl Conference on Data Science and Systems, DSS 2017**, [S. l.], p. 200–205, 2017. DOI: 10.1109/HPCC-SmartCity-DSS.2017.26.

MORZE, Nataliia V; GLAZUNOVA, Olena G. What Should be E-Learning Course for Smart Education The Presentation of the Main Research and Explanation of. **CEUR Workshop Proceedings**, [S. l.], v. 1000, p. 411–423, 2013. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84914161760&partnerID=tZOtx3y1>.

NASCIMENTO, Leandro Maciel. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DO CONHECIMENTO Leandro Maciel Nascimento CANVAS PARA IDENTIFICAÇÃO DO PERFIL EMPREENDEDOR um modelo conceitual co**. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2020. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/?p=2920>.

NGULUBE, P. Trends in research methodological procedures used in knowledge management studies (2009-2013). **African Journal of Library, Archives and Information Science**, [S. l.],

v. 24, n. 2, 2015.

OECD. **OECD Learning Compass 2030: A Series of Concept Notes**. Paris: OECD, 2019. Disponível em: <https://www.oecd.org/education/2030-project/>.

OECD. **Education in Brazil**. [s.l.: s.n.]. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/60a667f7-en>. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/60a667f7-en>.

OLIVEIRA, Vanderli Fava De. **A Engenharia e as Novas DCNs: Oportunidades para Formar Mais e Melhores Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019. a.

OLIVEIRA, Vanderli Fava De. As Inovações nas atuais diretrizes para a Engenharia: estudo comparativo com as anteriores. *In*: OLIVEIRA, Vanderli Fava De (org.). **A engenharia e as novas DCNs: oportunidades para formar mais e melhores engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. b.

PATEL, K.; MCCARTHY, Mary Pat; CHAMBERS, J. **Digital Transformation: The Essentials of E-business Leadership**. [s.l.] : KPMG/McGraw-Hill, 2000. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=z21EAAAAYAAJ>.

PEREIRA, Andreia G.; LIMA, Tânia M.; CHARRUA-SANTOS, Fernando. Industry 4.0 and Society 5.0: Opportunities and Threats. **International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)**, [S. l.], v. 8, n. 5, p. 3305–3308, 2020. DOI: 10.35940/ijrte.d8764.018520.

PEREIRA, Larissa Mariany Freiberger. **ICD: Metamodelo para institucionalização da Ciência Digital nas Instituições de Ensino Superior Brasileiras**. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2020.

PROKOPENKO, Olha; KUDRINA, Olha; OMEL'YANENKO, Vitaliy. ICT support of higher education institutions participation in innovation networks. **CEUR Workshop Proceedings**, [S. l.], v. 2387, p. 466–471, 2019.

PUCPR. **CrEAre**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.pucpr.br/professor/suporte-ao-professor/creare/>.

RAMIREZ-MENDOZA, Ricardo A.; MORALES-MENENDEZ, Ruben; IQBAL, Hafiz; PARRA-SALDIVAR, Roberto. Engineering Education 4.0: Proposal for a new Curricula. *In*: 2018 IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON) 2018, Santa Cruz de Tenerife. **Anais [...]**. Santa Cruz de Tenerife: IEEE, 2018. p. 1273–1282.

RICHERT, Anja; SHEHADEH, Mohammad; PLUMANN, Lana; GROSS, Kerstin; SCHUSTER, Katharina; JESCHKE, Sabina. Educating Engineers for Industry 4.0: Virtual Worlds and Human-Robot-Teams - Empirical Studies towards a new educational age. *In*: 2016 IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON) 2016, Abu Dhabi. **Anais [...]**. Abu Dhabi: IEEE, 2016. p. 142–149.

RÜBMANN, Michael; LORENZ, Markus; GERBERT, Philipp; WALDNER, Manuela; JUSTUS, Jan; ENGEL, Pascal; HARNISCH, Michael. **Industry 4.0: World Economic Forum The Boston Consulting Group**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry\\_40\\_Future\\_of\\_Productivity\\_April\\_2015\\_t](https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_t)

cm80-185183.pdf.

SAATY, Thomas L. Analytic Hierarchy Process. *In: Encyclopedia of Biostatistics*. [s.l.] : American Cancer Society, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0470011815.b2a4a002>.

SANTOS, Neri. **Métodos de Pesquisa em Gestão do Conhecimento Organizacional - Notas de Aula**. Florianópolis, 2020.

SCHREIBER, Guus; AKKERMANS, Hans; ANJEWIERDEN, Anjo; DE HOOG, Robert; SHADBOLT, Nigel; VAN DE VELDE, Walter; WIELINGA, Bob. **Knowledge Engineering And Management: The CommonKADS Methodology**. Cambridge: The MIT Press, 1999. Disponível em: <http://books.google.pt/books?id=wY9EylLwBPEC>.

SCHUSTER, Katharina; PLUMANN, Lana; GROSS, Kerstin; VOSSEN, Rene; RICHERT, Anja; JESCHKE, Sabina. Preparing for Industry 4.0 – Testing Collaborative Virtual Learning Environments with Students and Professional Trainers. **International Journal of Advanced Corporate Learning (iJAC)**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 14–20, 2015.

SCHWAB, K.; MIRANDA, D. M. **A Quarta Revolução Industrial**. [s.l.] : Edipro, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=XZSWDwAAQBAJ>.

SEMENOVA, Natalia V.; SVYATKINA, Elena A.; PISMAK, Tatiana G.; POLEZHAEVA, Zhanna Y. The realities of smart education in the contemporary Russian universities. **ACM International Conference Proceeding Series**, [S. l.], v. Part F1302, p. 48–52, 2017. DOI: 10.1145/3129757.3129767.

SHAFEEK, H. Applying Lean Concepts in the Quality Control Systems of Engineering Education - A Case Study. *In: 2019 INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERING CONFERENCE, ISEC 2019*, Jeddah. **Anais [...]**. Jeddah: IEEE, 2019. DOI: 10.1109/IASSEC.2019.8686676.

SHEAIL, Philippa. Temporal flexibility in the digital university: full-time, part-time, flexitime. **Distance Education**, [S. l.], v. 39, n. 4, p. 462–479, 2018. a. DOI: 10.1080/01587919.2018.1520039.

SHEAIL, Philippa. The digital university and the shifting time–space of the campus. **Learning, Media and Technology**, [S. l.], v. 43, n. 1, p. 56–69, 2018. b. DOI: 10.1080/17439884.2017.1387139.

THEORIES OF KNOWLEDGE: HOW TO THINK ABOUT WHAT YOU KNOW. Direção: Joseph H. SHIEBER. [s.l.] : The Great Courses, 2019.

SIEMENS, George. **Knowing Knowledge**. [s.l.: s.n.]. v. 5 DOI: 10.2307/2102859. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2102859?origin=crossref>.

SMART MANUFACTURING LEADERSHIP COALITION. **SMLC Forum: Priorities, Infrastructure, and Collaboration for Implementation of Smart Manufacturing**. Washington. Disponível em: [https://smartmanufacturingcoalition.org/sites/default/files/smlc\\_forum\\_report\\_vf\\_0.pdf](https://smartmanufacturingcoalition.org/sites/default/files/smlc_forum_report_vf_0.pdf).

SOMMER, Thorsten; BACH, Ursula; RICHERT, Anja Simone; JESCHKE, Sabina. A Web-Based Recommendation System for Engineering Education E- Learning Solutions. *In: JESCHKE, Sabina; ISENHARDT, Ingrid; HEES, Frank; HENNING, Klaus (org.). Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2015/2016.* [s.l.] : Springer International Publishing, 2016. p. 463–475. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42620-4>.

SPECTOR, J. Michael. Smart learning futures: a report from the 3rd US-China smart education conference. *Smart Learning Environments*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 1–10, 2018. DOI: 10.1186/s40561-018-0054-1.

STEFFEN, Marlies; MAY, Dominik; DEUSE, Jochen. The Industrial Engineering Laboratory: Problem Based Learning in Industrial Engineering Education at TU Dortmund University. *In: EDUCON CONFERENCE 2012, Rabat. Anais [...].* Rabat: IEEE, 2012.

STOLTERMAN, Erik; FORS, Anna Croon. Information technology and the good life. *In: KAPLAN, Bonnie; TRUEX, Duane P.; WALTELL, David; WOOD-HARPER, A. Trevo.; DEGROSS, Janice I. (org.). Information Systems Research: Relevant Theory and Informed Practice.* 1. ed. Boston: Springer, 2004. v. 143p. 687–692. DOI: [https://doi.org/10.1007/1-4020-8095-6\\_45](https://doi.org/10.1007/1-4020-8095-6_45).

SUDIBJO, Niko; IDAWATI, Lusiana; HARSANTI, HG Retno. Characteristics of Learning in the Era of Industry 4.0 and Society 5.0. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION TECHNOLOGY 2019, Anais [...].* [s.l: s.n.] p. 276–279. Disponível em: <http://staffnew.uny.ac.id/upload/130682770/penelitian/ba-32kur-masa-depansemnas-untirta16-2->.

SURAKRATANASAKUL, Boonprasert. Lightweight CommonKADS in knowledge intensive organization. *2017 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, ICITEE 2017*, [S. l.], v. 2018- Janua, p. 1–5, 2017. DOI: 10.1109/ICITEED.2017.8250504.

TIKHOMIROV, Vladimir; DNEPROVSKAYA, Natalia; YANKOVSKAYA, Ekaterina. Three Dimensions of Smart Education. *In: (Vladimir L. Uskov, Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain, Org.)SMART EDUCATION AND SMART E-LEARNING 2015, Cham. Anais [...].* Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 47–56.

TSAI, I. C.; WU, H. J.; LIAO, C. H.; YEH, C. H. An Innovative Hybrid Model for Developing Cross Domain ICT Talent in Digital Economy. *In: PROCEEDINGS OF 2018 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEACHING, ASSESSMENT, AND LEARNING FOR ENGINEERING, TALE 2018 2019, Anais [...].* [s.l: s.n.] p. 745–750. DOI: 10.1109/TALE.2018.8615150.

TU, Yi-lien; CHEN, Yi-Ching; WU, Hsin-Jung; WANG, Chwen-Pyng; YEH, Chung-Han; LEU, Lee-Hwa; TSAI, I. Chang. Developing a Curriculum Learning Map for Cultivating Cross-domain Digital Talent. *In: 2019 IEEE 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION (ICEED) 2019, Kanazawa. Anais [...].* Kanazawa: IEEE, 2019. p. 210–215.

UIUC. **Center for Innovation in Teaching & Learning.** [s.d.]. Disponível em: <https://citl.illinois.edu/>.

USKOV, Vladimir; BAKKEN, Jeffrey P.; ALURI, Lavanya; RACHAKONDA, Rama; RAYALA, Narmada; USKOVA, Maria. Smart pedagogy: Innovative teaching and learning strategies in engineering education. **EDUNINE 2018 - 2nd IEEE World Engineering Education Conference: The Role of Professional Associations in Contemporaneous Engineer Careers, Proceedings**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1109/EDUNINE.2018.8450962.

USKOV, Vladimir L.; BAKKEN, Jeffrey P.; HEINEMANN, C.; RACHAKONDA, Rama. Smart Pedagogy for Smart Universities. In: USKOV, Vladimir; HOWLETT, R.; JAIN, L. (org.). **Smart Education and e-Learning 2017. SEEL 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies**. Vilamoura: Springer, Cham, 2017. a. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59451-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59451-4_1).

USKOV, Vladimir L.; BAKKEN, Jeffrey P.; HEINEMANN, Colleen; RACHAKONDA, Rama; GUDURU, Venkat Sumanth. Building Smart Learning Analytics System for Smart University. In: (Vladimir L. Uskov, Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain, Org.)INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART EDUCATION AND SMART E-LEARNING 2017b, Vilamoura. **Anais [...]**. Vilamoura: Springer, Cham, 2017. p. 191–204. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59451-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59451-4_19).

USKOV, Vladimir L.; BAKKEN, Jeffrey P.; PANDEY, Akshay; SINGH, Urvashi; YALAMANCHILI, Mounica; PENUMATSA, Archana. Smart University Taxonomy: Features, Components, Systems. In: (Vladimir L. Uskov, Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain, Org.)SMART EDUCATION AND E-LEARNING 2016 2016, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 3–14.

USKOV, Vladimir L.; BAKKEN, Jeffrey P.; SHAH, Ashok; KROCK, Timothy; USKOV, Alexander; SYAMALA, Jitendra; RACHAKONDA, Rama. Smart learning analytics: Conceptual modeling and agile engineering. **Smart Innovation, Systems and Technologies**, [S. l.], v. 99, p. 3–16, 2019. DOI: 10.1007/978-3-319-92363-5\_1.

VERMA, Prabal; SOOD, Sandeep K.; KALRA, Sheetal. Smart computing based student performance evaluation framework for engineering education. **Computer Applications in Engineering Education**, [S. l.], v. 25, n. 6, p. 977–991, 2017. DOI: 10.1002/cae.21849.

VERONEZ, Jaíne Clarice; GODARTH, Kellerman Augusto Lemes. Diretrizes Estratégicas Das 100 Maiores Empresas Do Brasil. In: 2015, **Anais [...]**. [s.l: s.n.] p. 1–15.

WESTERMAN, George. Why digital transformation needs a heart. **MIT Sloan Management Review**, [S. l.], v. 58, n. 1, p. 19–21, 2016.

WILLICKS, Freya; SCHOENEFELD, Kathrin; STEHLING, Valerie; RICHERT, Anja; JESCHKE, Sabina; HEES, Frank. **Engineers Without Borders Challenge: Implementing Sustainability in German Engineering Education**. ASEE, , 2017.

WOOD, Richard. Three keys to designing and configuring secure industrial networks. **InTech**, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.isa.org/intech/20171205/>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **New Vision for Education: Unlocking the potential of TechnologyIndustry Agenda**. Cologne/Geneva. DOI: 10.1063/1.4938795.

WORLD ECONOMIC FORUM. **White Paper Digital Transformation of Industries: Consumer Industries**World Economic Forum. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/digital-enterprise-narrative-final-january-2016.pdf>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Future of Jobs Report 2020**The Future of Jobs Report. Coligny/Geneva. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/digest>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Building a Common Language for Skills at Work: A Global Taxonomy**. [s.l: s.n.].

WORLD ECONOMIC FORUM. **Defining Education 4.0: A Taxonomy for the Future of Learning**. [s.l: s.n.]. Disponível em: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Defining\\_Education\\_4.0\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Defining_Education_4.0_2023.pdf).

WUEBBEKE, Jost; MEISSNER, Mirjam; ZENGLEIN, Max J.; IVES, Jaqueline; CONRAD, Björn. Made in China 2025: The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries. **MERICs Papers on China**, [S. l.], n. 2, p. 76, 2016. Disponível em: [https://www.merics.org/fileadmin/user\\_upload/downloads/MPOC/MPOC\\_Made\\_in\\_China\\_2025/MPOC\\_No.2\\_MadeinChina\\_2025.pdf](https://www.merics.org/fileadmin/user_upload/downloads/MPOC/MPOC_Made_in_China_2025/MPOC_No.2_MadeinChina_2025.pdf).

ZENGIN, Yunus; NAKTIYOK, Serkan; KAYGIN, Erdoğan; KAVAK, Onur; TOPÇUOĞLU, Ethem. An investigation upon industry 4.0 and society 5.0 within the context of sustainable development goals. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 1–16, 2021. DOI: 10.3390/su13052682.

ZEUCH, Mark; JANSSEN, Theresa; PETERMANN, Marcus; KILZER, Andreas. ALLES ING! Count me in! Attracting human talents in providing open access to universities with focusing on individual opportunities in engineering sciences. *In*: 2014 IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON) 2014, Istanbul. **Anais [...]**. Istanbul: IEEE, 2014. p. 1003–1005. DOI: 10.1109/EDUCON.2014.6826225.

ZIMMER, PALOMA; IATA, CRISTIANE MITSUE; FILHO, SÍLVIO SERAFIM DA LUZ; ROMANO, JOÃO MARCELO. Obstáculos para a interação universidade-empresa: percepção de nits, grupos de pesquisa e empresa. *In*: DESAFIOS DA GESTÃO UNIVERSITÁRIA NO SÉCULO XXI 2015, **Anais [...]**. [s.l: s.n.] p. 1–11. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/136132/101\\_00246.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/136132/101_00246.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

## GLOSSÁRIO

**Agente:** é responsável pela execução de uma tarefa. Pode ser um humano ou um sistema computacional.

**AHP:** *Analytic Hierarchy Process* é um método analítico que permite a avaliação e comparação de opções de escolha com base em múltiplos critérios.

**Aspectos da Organização:** mostram como um processo de negócios é estruturado, quais funcionários estão disponíveis, bem como os recursos (SCHREIBER et al., 1999).

**Ativos de Conhecimento:** componentes de conhecimento no nível organizacional, relacionados a um detentor e situação de aplicação.

**Challenge-Based Learning:** a aprendizagem baseada em desafios é uma abordagem multidisciplinar e envolvente para o ensino e aprendizagem que incentiva os estudantes a usarem a tecnologia do dia a dia na busca por soluções para problemas do mundo real. O CBL é colaborativo e prático, pedindo aos estudantes que trabalhem com outros alunos, seus professores e especialistas em suas comunidades e ao redor do mundo para desenvolverem um conhecimento mais profundo dos assuntos que estão estudando, aceitarem e resolverem desafios, agirem, compartilhareм suas experiências e entrarem em uma discussão global sobre questões importantes (APPLE, 2010).

**CommonKADS:** é uma metodologia para apoiar a engenharia de conhecimento. É uma abordagem abrangente e bem estabelecida que fornece uma estrutura sistemática para a análise, projeto, implementação e manutenção de sistemas baseados em conhecimento. O objetivo principal da metodologia é fornecer um conjunto de modelos conceituais e técnicas que ajudam a capturar, formalizar e reutilizar conhecimento de especialistas em uma ampla variedade de domínios. CommonKADS inclui várias etapas, como a análise do domínio do problema, a especificação de requisitos, a modelagem do conhecimento, a validação do modelo e a implementação do sistema de conhecimento (SCHREIBER et al., 1999).

**Competência:** aplicação do conhecimento específico de uma área em situações-problema reais, com habilidades profissionais, atitudes e valores pessoais.

**Conhecimento de Domínio:** descreve as principais informações estáticas e tipos de conhecimento e objetos em um domínio de aplicação.

***Design Science Research:*** é uma abordagem metodológica preocupada em criar artefatos que sirvam a propósitos humanos. É uma forma de produção de conhecimento científico que envolve o desenvolvimento de construções inovadoras, destinadas a resolver problemas enfrentados no mundo real, e simultaneamente faz uma espécie de contribuição científica prescritiva. Um resultado importante desse tipo de pesquisa é um artefato que resolve um problema de domínio, também conhecido como conceito de solução, que deve ser avaliado em relação a critérios de valor ou utilidade (DRESCH; PACHECO; VALLE ANTUNES, 2015).

**Diagrama de Classes:** descreve a estrutura de informação estática do domínio de aplicação. O diagrama de classe é uma extensão da modelagem tradicional de entidade-relacionamento. Ele deve refletir as entidades, atributos e relacionamentos relevantes do domínio de aplicação específico que está sendo analisado (SCHREIBER et al., 1999).

**Diretriz Estratégica:** É a linha de conduta definida para os caminhos, que levam até os objetivos da organização. São normas de procedimentos que determinam a meta a ser cumprida (VERONEZ; GODARTH, 2015).

***DScaffolding:*** é uma ferramenta que oferece um mapa conceitual estruturado para o uso do DSR, por meio do aplicativo MindMeister e extensão adicionada ao navegador Google Chrome.

**Educação 4.0:** é o ensino e aprendizagem do conhecimento, das habilidades, das atitudes e dos valores na busca de soluções para problemas ou desafios do mundo real (WORLD ECONOMIC FORUM, 2023).

**Educação em Engenharia:** A pesquisa em educação em engenharia é um campo amplo, em constante evolução, diverso, interdisciplinar e internacional no qual os acadêmicos aplicam os

métodos de pesquisa educacional para abordar uma variedade de questões relacionadas ao ensino e aprendizagem em engenharia (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015).

**Ensino Personalizado:** é presente quando o estudante escolhe trilhas de formação, personalizando a sua própria formação. Também é entendido como uma forma em que o estudante escolhe as metodologias de aprendizagem que melhor se adequam e segue no seu próprio ritmo para desenvolver competências personalizadas.

**Função de Entrada Dinâmica:** contém os objetos de entrada para uma inferência, sendo que esta usa o conhecimento contido em uma base de conhecimento para derivar nova informação ou novo conhecimento.

**Função de Saída Dinâmica:** contém as informações ou conhecimento derivados de uma inferência, por meio do conhecimento contido em uma base de conhecimento.

**Gamificação:** é o uso de jogos de forma lúdica como metodologia de ensino e aprendizagem.

**Indústria 4.0:** é a adoção de tecnologias oferecidas pela Transformação Digital para modernização dos processos produtivos e dos negócios. Está contida dentro da Sociedade 5.0.

**Inferência:** é a maneira como as partes interessadas de uma organização usam os ativos de conhecimento em um método de tarefa. É o raciocínio em um sistema para a solução de um problema.

**Laboratório Remoto:** É um laboratório real com conectividade e tecnologias educacionais que estudantes e professores têm acesso de forma remota, por meio da Internet, para executar experimentos práticos.

**Laboratório Virtual:** é um tipo de tecnologia educacional que representa a versão virtual de algum laboratório real. Nele, o estudante pode executar experimentos práticos virtuais.

**Lightweight CommonKADS:** é uma versão resumida do tradicional *CommonKADS* (SCHREIBER et al., 1999) para organizações intensivas em conhecimento. A ferramenta

contribui para que engenheiros de conhecimento com pouca experiência compreendam facilmente o ambiente organizacional, por meio da redução dos processos, focando apenas nos níveis de contexto e conceito do *CommonKADS* (SURAKRATANASAKUL, 2017).

**Método de Tarefa:** descreve como uma tarefa pode ser realizada pela sua decomposição em subfunções e um regime de controle sobre a execução dessas funções (SCHREIBER et al., 1999). Ou seja, descreve como uma tarefa deve ser feita.

**Modelo de Agente:** é planilha que contém as partes interessadas e as responsabilidades de cada uma, a que organização pertencem, com que estão envolvidas, com quem comunicam e qual conhecimento possuem.

**Modelo de Comunicação:** é a planilha que contém as transações entre os agentes em uma organização intensiva em conhecimento. Nele, as transações são descritas, bem como a forma de troca de mensagens.

**Modelo Conceitual:** Os modelos conceituais, insights e abordagens derivados da síntese de design são usados para projetar protótipos, resultando em modelos interativos do resultado de um processo de design. Ao invés de apenas provar a viabilidade de um conceito para se preparar para a implementação, a prototipagem é usada no design como uma ferramenta para exploração criativa, como uma ajuda para experimentar diferentes direções e promover a ideia antes de escolher um caminho definitivo. Ela serve como uma ferramenta de comunicação para alinhar um design com as partes interessadas e grupos-alvo, como uma fonte para mais perguntas e possíveis direções, e pode ser usada para envolver pessoas de fora da equipe de design central nas atividades de exploração e síntese. Em vez de discussão, opiniões e compromissos, a interatividade dos protótipos ajuda a incorporar o desenvolvimento e a avaliação de designs em um cenário realista (GUENTHER, 2013).

**Parte Interessada:** agente que tem seu papel e competências em uma tarefa compartilhada da organização.

**ProKnow-C:** é um processo estruturado de revisão bibliográfica para construir o conhecimento necessário quando se deseja investigar e analisar um tema de pesquisa (ENSSLIN; ENSSLIN, 2007)

**Project-Based Learning:** é uma abordagem educacional que envolve os estudantes em um projeto de longo período, para obter conhecimentos e compreensão mais profundos sobre um assunto ou tópico em particular. No aprendizado baseado em projetos, os alunos se engajam em um processo prolongado de investigação em resposta a uma questão, problema ou desafio complexo. Eles trabalham em colaboração para pesquisar, projetar, planejar e executar um projeto que aborda o desafio e culmina em um produto ou apresentação. Essa abordagem enfatiza a aprendizagem centrada no aluno, o pensamento crítico, a resolução de problemas e a aplicação do conhecimento e habilidades no mundo real.

**Power Automate:** é uma plataforma de automação de fluxo de trabalho contida no Microsoft 365 que permite criar fluxos de trabalho automatizados.

**PROTOLIT:** é um processo de tomada de decisão multicritério em revisão sistemática da literatura em pesquisas científicas.

**Premissa:** pré-condição existente considerada como uma verdade que precisa ser aceita no desenvolvimento de projetos. Os projetistas não têm controle sobre as premissas.

**Processo de Negócio:** é um conjunto de tarefas de uma organização que possui dependência e fluxo de objetos manipulados de entrada e saída, realizadas por agentes que possuem conhecimento e competências, com apoio de recursos disponíveis.

**Requisito Funcional:** característica de um artefato que é diretamente relacionada à atividade principal de uma organização.

**Requisito Não-Funcional:** característica de um artefato que não é diretamente relacionada à atividade principal de uma organização, mas desejada para o bom funcionamento do artefato.

**Sala de Aula Invertida:** é uma abordagem pedagógica em que o estudante se torna ator principal da aprendizagem. O material de aula é disponibilizado previamente aos estudantes, para que eles cheguem preparados a uma aula que pretende usar o conteúdo de forma aplicada em algum problema ou apenas para usar o tempo de aula em atividades práticas e interativas. O estudante se torna ativo no processo de aprendizagem, enquanto o professor atua como facilitador da aprendizagem.

**SharePoint:** é uma plataforma contida na Microsoft 365 para gestão do conhecimento de forma colaborativa com a equipe de trabalho.

**Smart Classroom:** é uma sala de aula que adota tecnologias educacionais inteligentes. Considera-se que a sala também permite layouts flexíveis para se adaptar a diversos contextos e características de ensino-aprendizagem. Está contida dentro da *Smart University*.

**Smart Education:** é a união da tecnologia educacional com as tecnologias atuais e novas metodologias baseadas em aprendizagem ativa, com objetivos pela formação por competências multidisciplinares, de criatividade e de comunicação para a solução de problemas complexos de engenharia, mas considerando sustentabilidade. Alguns autores a consideram como a evolução do *e-Learning*.

**Smart Learning Analytics:** tem o objetivo de oferecer feedback automatizado aos estudantes e auxílio ao corpo de professores. Também permite à coordenação de curso gerenciar os resultados de aprendizagem.

**Smart Pedagogy:** a pedagogia inteligente é componente da *Smart Education* que aplica metodologias baseadas em aprendizagem ativa, colocando o estudante na busca por soluções para problemas e desafios reais de engenharia.

**Smart University:** está contida dentro da *Smart Education* e propõe princípios de adaptação, percepção, inferência, autoaprendizagem, antecipação e auto-organização.

**Sociedade 5.0:** se concentra na resolução de problemas sociais por meio do uso de tecnologias avançadas. Busca integrar as tecnologias de IoT, inteligência artificial, robótica e energia renovável para resolver problemas sociais.

**SWOT:** é uma matriz de análise de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças de um determinado assunto.

**Tecnologia Educacional:** são as tecnologias que permitem que a instrução seja baseada em computador, com uso de softwares educacionais. São as tecnologias que permitem a comunicação eletrônica, por meio de blogs, e-mail, mensagens instantâneas, discussões online, mídias sociais, vídeos e áudios. São as tecnologias de aprendizagem como AVAs, simuladores, apps móveis, laboratórios e seus experimentos, e a realidade estendida. São tecnologias que permitem diferentes modalidades de ensino, como ensino híbrido, ensino à distância, simultâneo, MOOCs e laboratórios remotos (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015).

**Transformação Digital:** Adoção de novas tecnologias nos diversos setores econômicos. Considerada como a 4ª Revolução Industrial, com a integração dos sistemas ciber-físicos para modernizar a Indústria, para aumentar significativamente a produtividade, eficiência dos processos. Na Sociedade, a adoção das tecnologias visa resolver problemas sociais.

**Troca de Informações:** Para que um projeto e implementação de um sistema de conhecimento sejam bem executados, deve-se dar atenção a forma de como as mensagens são escritas e a estrutura de transação, bem como a forma sintática e meio de informação das mensagens. É composta por transação, agentes envolvidos, itens da informação, especificações da mensagem e controle sobre mensagens.

**UML:** *Unified Modeling Language* é uma linguagem padrão para modelagem de sistemas baseado em objetos, que permite descrever visualmente diferentes aspectos do sistema, tais como: estrutura, comportamento, processos e interações entre diferentes partes do sistema. A UML utiliza diagramas de classes, diagramas de sequência, diagramas de atividades, diagramas de componentes e diagramas de casos de uso, para representar visualmente os diferentes aspectos do sistema e ajudar a entender e comunicar de forma clara e eficiente o funcionamento do sistema para diferentes partes interessadas.

## APÊNDICE A – Revisão Sistemática da Literatura: detalhamento

Este apêndice serve de suporte ao Capítulo 2, o da Fundamentação Teórica e para o item 4.2.3, a Fase 3 do DSR, a Revisão Sistemática da Literatura.

### PROKNOW-C

O ProKnow-C é um processo estruturado de revisão bibliográfica para construir o conhecimento necessário quando se deseja investigar e analisar um tema de pesquisa (ENSSLIN; ENSSLIN, 2007). O processo é composto por três principais etapas: Seleção do Portfólio de Artigos, Análise Bibliométrica e Análise Sistemática.

A primeira etapa do ProKnow-C é a de seleção do portfólio de artigos, quando se busca os artigos em bases de dados, selecionando as publicações de acordo com o tema de pesquisa e relevância acadêmica dos trabalhos. O processo é descrito a seguir.

A primeira etapa do ProKnow-C é a de seleção do portfólio de artigos, quando se busca os artigos em bases de dados, selecionando as publicações de acordo com o tema de pesquisa e relevância acadêmica dos trabalhos. O processo é descrito a seguir.

#### Seleção do Portfólio de Artigos

A Seleção do Portfólio de Artigos é dividida em 4 grupos: “Definir Palavras-Chave (PC)”, “Definir Bancos de Dados (BD)”, “Buscar artigos no BD com as PC” e “Testar aderência das PC” (Figura 66).

O grupo “Definir Palavras-Chave” possui 3 passos:

- 1) Definir Eixos de Pesquisa;**
- 2) Definir PC de cada Eixo; e**
- 3) Definir Combinações de PC.**

Já o grupo “Definir Bancos de Dados (BD) tem 4 passos:

- 4) Selecionar BD por Assunto (Aderência do conceito ao assunto);**
- 5) Pesquisar Alinhamento BD com PC (Número de artigos para as PC);**
- 6) Fixar Representatividade desejada; e**
- 7) Explicitar BD que contém a Amostra para a Representatividade estabelecida.**

No grupo “Buscar artigos nos BD com as PC” há apenas um passo:

**8) Buscar nos BD com as PC e os filtros limitantes: Tempo; Assunto; Tipos de arquivo etc.**

Por fim, o grupo “Testar aderência das PC” tem 3 passos e uma estrutura de decisão. Esta é resultante de uma análise se Novas Palavras-Chave (NPC) são encontradas no teste de aderência das publicações. Os passos para a sub etapa são:

**9) Pela leitura dos Títulos dos artigos do Banco de Artigos Brutos, selecionar 2 alinhados ao Tema da Pesquisa;**

**10) Buscar as PC destes artigos – Novas Palavras-Chave (NPC); e**

**11) Incorporar Novas PC.**

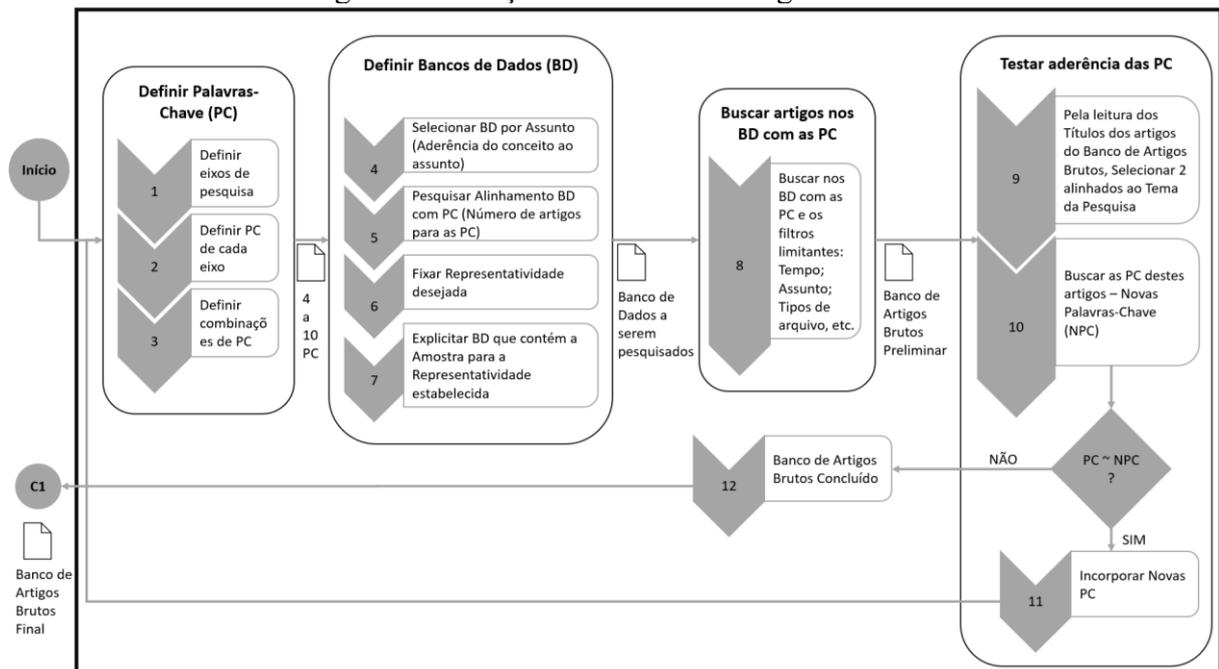
No caso de NPC não serem encontradas, do Passo 10 segue-se para:

**12) Banco de Artigos Brutos Concluído.**

A seqüência de 12 passos foi realizada em 4 iterações, pois NPC foram incorporadas no Passo 11, até que se chegou à formação do “Banco de Artigos Brutos Final”. Em seguida, as “Filtragens do Banco de Artigos” foi realizada. “C1” na Figura 66 é o conector para o início das filtragens.

A explicação de como cada um dos passos da “Seleção do Banco de Artigos Brutos” foi desenvolvido está descrita nos tópicos a seguir.

Figura 66. Seleção do Banco de Artigos Brutos.



Fonte: Adaptado de ENSSLIN; ENSSLIN (2007).

### Passo 1: Definir Eixos de Pesquisa

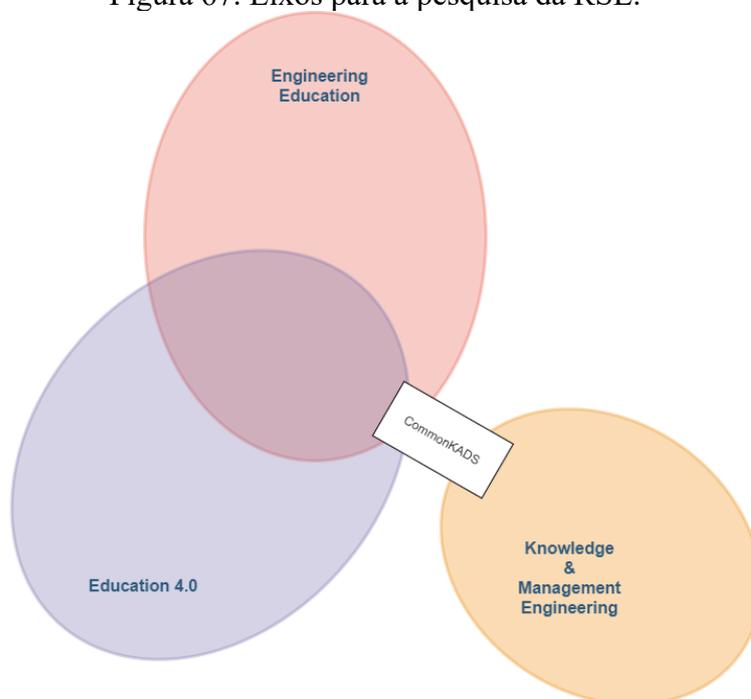
Considerando a questão de pesquisa para esta proposta de tese, dois grandes eixos foram estabelecidos para o primeiro passo: *Engineering Education* e *Education 4.0* (Figura 67)<sup>8</sup>. O objetivo foi observar como as inovações da Educação 4.0 impactam na Educação em Engenharia.

### Passo 2: Definir PC de cada Eixo

Para o segundo passo, uma taxonomia referente à Educação em Engenharia foi utilizada (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015) para se determinar as PC do eixo *Engineering Education*. Já para o segundo eixo, *Education 4.0*, não há uma taxonomia. Portanto, a definição das PC foi realizada em conjunto com o orientador.

Os autores da taxonomia referente à Educação em Engenharia padronizaram 455 PC e as distribuíram em 14 divisões para melhor mapear, comunicar e conectar as iniciativas de pesquisa (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015). Além disso, a proposta de taxonomia

Figura 67. Eixos para a pesquisa da RSL.



Fonte: O autor.

<sup>8</sup> O CommonKADS (SCHREIBER et al., 1999), presente na figura, foi escolhido como metodologia para apoiar o Ciclo da Gestão do Conhecimento, uma vez que é necessário trabalhar com o ativos de conhecimento que já fazem parte ou venham a ser em uma universidade com Educação em Engenharia.

possui um guia para a seleção das PC que pode ser consultado e utilizado em: <http://taxonomy.engin.umich.edu/> (data do último acesso: 25/07/2021). Os autores sugerem a escolha de uma ou duas PC em cada uma das 3 categorias: contexto/foco/tópico, objetivo/motivação e abordagem de pesquisa (Figura 68). O guia também mapeia as 14 divisões nas 3 categorias, de maneira a facilitar ainda mais a escolha das PC corretas sobre Educação em Engenharia.

A taxonomia foi utilizada nas 4 iterações que ocorreram na etapa de **Seleção do Portfólio de Artigos**, ocasionando que o Passo 2 também fosse executado por 4 vezes. Na 1ª iteração, as PC foram selecionadas dentre as 455 opções, conforme sugere o guia da taxonomia. Nas outras 3 iterações, as NPC foram incorporadas pela sub etapa **Teste de Aderência das PC**. Entretanto, procurou-se encontrar sinônimos nas opções da taxonomia para as NPC. Em caso positivo, as PC sinônimas também foram incorporadas.

As PC utilizadas em cada uma das iterações podem ser encontradas na Tabela 8.

**Figura 68. Seleção de Palavras-Chave para a Educação em Engenharia.**

Keyword category (select one or two keywords from each of the following three categories)	Related taxonomy branches
Context/focus/topic	1. Assessment
Focus of study	2. Design
Educational level (e.g. pre-college, graduate student, practicing engineer)	3. Diversity
Field of engineering (e.g., physics, civil engineering)	4. Educational level
Population (e.g., undergraduate students, faculty, women)	5. Educational settings
Scale of the study (e.g., individual students, small groups, department, multi- or single-institution)	6. Educational technology
	7. Instruction <sup>a</sup>
	9. Professional practice <sup>a</sup>
	10. Recruitment and retention <sup>a</sup>
	11. Related fields
	13. Theoretical frameworks <sup>a</sup>
	14. Teams
Purpose/target/motivation	7. Instruction <sup>a</sup>
Outcome under study (e.g., communication skills, critical thinking, scientific literacy)	8. Outcomes
Purpose (e.g., diffusion, adoption)	9. Professional practice <sup>a</sup>
	10. Recruitment and retention <sup>a</sup>
	13. Theoretical frameworks <sup>a</sup>
Research approach	12. Research approaches
Underlying theory	13. Theoretical frameworks <sup>a</sup>
Research methods (e.g., qualitative analysis, quantitative analysis)	
Research tools (e.g., interview, survey, focus group)	

<sup>a</sup>Words appearing in these taxonomy branches are relevant for multiple keyword categories.

Fonte: (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015).

### 1ª Iteração

Para a 1ª iteração, as PC foram definidas para o eixo *Engineering Education* conforme segue:

- i. **Contexto/foco/tópico:** *Accreditation* e *Undergraduate*. A justificativa para estas PC se dá pela necessidade de foco em sistematização de procedimentos (*accreditation*) para a Educação em Engenharia de cursos superiores de

Tabela 8 – Palavras-Chave por Eixos de Pesquisa e Iterações.

Eixo de Pesquisa (conforme Figura 21)				
Iteração	<i>Engineering Education</i> <sup>1</sup>			<i>Education 4.0</i>
	<i>Context / focus / topic</i>	<i>Purpose / target / motivation</i>	<i>Research approach</i>	
1	<i>Accreditation</i>	<i>Instructional Methods</i>	<i>Design-based research (ou Design Science Research)</i>	<i>Digital Education</i> <i>Digital Transformation in Education</i> <i>Lean Education</i>
	<i>Undergraduate</i>	<i>Industry involvement</i>	<i>Cognitive Theories</i>	
2	<i>Educational Technology</i> <sup>2</sup>			
	<i>E-learning</i> <sup>2</sup>			
	<i>Engineering Education</i> <sup>3</sup>			
	<i>Remote Laboratory</i> <sup>2</sup>			
	<i>Virtual Laboratory</i> <sup>2</sup>			
	<i>Learning management systems</i> <sup>4</sup>			
3				<i>Smart Education</i>
4		<i>Competence</i>		

<sup>1</sup> Foram utilizadas PC padronizadas conforme a taxonomia (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015);

<sup>2</sup> Foram utilizadas PC sinônimas, de acordo com a taxonomia;

<sup>3</sup> É o nome do próprio eixo de pesquisa, mas pode ser considerada PC, de acordo com a taxonomia;

<sup>4</sup> Nomes comerciais de Ambientes Virtuais de Aprendizagem foram considerados como LMS, de acordo com a taxonomia.

bacharelado (*undergraduate*). Níveis de mestrado e doutorado não são foco de estudo da presente pesquisa (*graduate*).

- i. **Objetivo/motivação:** *Instructional Methods e Industry Involvement*. Métodos instrucionais são entendidos como métodos e ferramentas para aprendizagem. Já o envolvimento da indústria se deve às Diretrizes Curriculares Nacionais (BRASIL, 2019b), requisitando que ao menos 10% da carga horária dos cursos de engenharia devem ser desenvolvidas na forma de extensão. Essa carga horária pode ser viabilizada com a aproximação do Setor Produtivo e da Sociedade aos cursos de engenharia.
- ii. **Abordagem de pesquisa:** *Design-based Research e Cognitive theories*. A primeira PC foi pesquisada em conjunto com *Design Science Research*, uma vez que a presente pesquisa foi estruturada conforme a proposta de DSR. A segunda PC foi selecionada pela necessidade de entendimento de como a aquisição do conhecimento é realizada na Educação em Engenharia.

No segundo eixo, *Education 4.0*, uma taxonomia não foi utilizada. Portanto, a definição das PC da 1ª iteração foi realizada em conjunto com o orientador: ***Digital Education, Digital Transformation in Education e Lean Education***. A primeira PC foi escolhida devido a necessidade de modernização da Educação em Engenharia, incorporando tecnologias digitais. No mesmo sentido, a segunda PC foi selecionada pelo atual momento que a Sociedade e o Setor Produtivo necessitam embarcar e conviver: a Transformação Digital (DELOITTE, 2015; WORLD ECONOMIC FORUM, 2016). Contudo, entende-se que a Transformação Digital requer a incorporação de novas tecnologias no Setor Industrial e na Sociedade, demandando que a educação prepare profissionais competentes. Todavia, não basta possuir conhecimento, se não souber aplicá-lo imediatamente em um contexto imperativo. Além disso, é preciso aplicar o conhecimento respeitando o entorno e as partes interessadas. Portanto, para a segunda PC, entende-se que possuir competência para a Transformação Digital é a soma da aquisição do conhecimento com habilidades profissionais e atitudes pessoais para aplicá-lo. Por fim, a terceira PC foi escolhida pela inerente necessidade de formar profissionais em menor tempo, atendendo as demandas da Sociedade e do Setor Produtivo no contexto da Transformação Digital. As exigências atuais por resultados em curto espaço de tempo tem requerido profissionais com formação ampla, mas também rápida. Historicamente, a Educação em Engenharia tem se apoiado em formação por conteúdo. Mas com o conhecimento crescendo em curva exponencial, é praticamente impossível formar profissionais competentes no tempo

demandado, baseando apenas em conteúdo e sem contexto real de aplicação. Portanto, é justificável a escolha da terceira PC, para entender como iniciativas de ensino enxuto têm colaborado para a Educação em Engenharia.

### *2ª Iteração*

Para a 2ª iteração, NPC foram incorporadas no **Teste de Aderência das PC**, Passo 11. Dois artigos da 1ª iteração foram aleatoriamente selecionados. O primeiro (KILANI; TORABI; MAO, 2018) apresenta 5 PC, sendo que uma já tinha sido usada na *string* da 1ª iteração (*Digital Education* – Passo 3), duas não estão alinhadas com esta proposta de tese (*molecular simulation* e *nanoengineering*), e duas são NPC (*e-learning* e *virtual laboratories*). As duas NPC possuem sinônimos na taxonomia: *Educational Technology* e *Remote Laboratory*. Todas essas NPC estão na categoria **Contexto/foco/tópico**. Por outro lado, o segundo artigo (DOĞAN; DEMIR; ÜLKÜ, 2018) trouxe 3 PC, sendo que uma não estava alinhada (*Social Networks*) e duas alinhadas (*engineering education* e *Edmodo (LMS)*). A primeira NPC é o nome do próprio eixo de pesquisa, portanto foi incorporada. Já a segunda é o nome de um Ambiente Virtual de Aprendizagem, que tem o seu sinônimo na taxonomia: *Learning Management Systems*.

Dessa forma, as NPC consideradas para a 2ª iteração estão todas na categoria **Contexto/foco/tópico** da taxonomia para a Educação em Engenharia: *Educational Technology, e-learning, Remote Laboratory, Virtual Laboratory, Engineering Education e Learning Management Systems*. Não houve acréscimo de NPC para o eixo *Education 4.0*.

### *3ª Iteração*

Para a inclusão de NPC na 3ª iteração, mais dois artigos foram selecionados aleatoriamente, mas agora da 2ª iteração. O primeiro (ASSANTE et al., 2019) tem 3 PC, sendo que uma já foi utilizada na 1ª iteração: *Digital Education*. As outras duas são NPC: *Industry 4.0* e *Smart Education*. A primeira é muito ampla, portanto, não foi incluída. Já a segunda chamou muita atenção e foi adicionada na 3ª iteração para o eixo *Education 4.0*, devido a sua similaridade com as outras PC. O segundo artigo (DELGADO KLOOS et al., 2017) apresentou 9 PC. Contudo, nenhuma delas acabou sendo incluída, devido a serem muito específicas ou por serem consideradas sinônimos de outros termos padronizados na taxonomia para a Educação em Engenharia. *Blended learning, Flipped classroom* e *Serious games* podem ser considerados

métodos instrucionais, já pesquisados na 1ª iteração (*Instructional Methods*). MOOCs (*Massive Online Open Courses*), OER (*Open Education Resources*) e SPOCs (*Small private online courses*) estão abrangidas por *Educational Technology*, que também já foi pesquisada na 2ª iteração. *Misconceptions* foi desconsiderada por desalinhamento com a pesquisa. E, finalmente, *Digital Education* e *Remote labs* também já foram pesquisadas na 1ª e 2ª iterações, respectivamente. Sendo assim, para a 3ª iteração, nenhuma PC foi incluída no eixo *Engineering Education* e apenas uma NPC foi incluída no eixo *Education 4.0: Smart Education*.

#### 4ª Iteração

Na 4ª e última iteração, novamente dois artigos da iteração anterior foram selecionados ao acaso. Da primeira publicação (TSAI et al., 2019), nenhuma PC foi incluída no teste de aderência. *Digital Transformation* é considerado muito amplo. Além disso, na 1ª iteração, a Transformação Digital já foi pesquisada na área de Educação. MOOCs também já foi pesquisada como tecnologia educacional na 3ª iteração. *Blended learning* e *Problem-based learning* são importantes, contudo, estão cobertas pelos métodos instrucionais pesquisados na 1ª iteração. Já *talent development* e *cross-domain* estão cobertos por um termo na taxonomia: *competence*. Por outro lado, a segunda publicação (MARTÍN-LARA, 2019) apresenta 5 PC. *Chemical Engineering* é considerada uma PC muito específica para esta proposta de tese e foi desconsiderada. *Higher education* está coberta por *undergraduate*, portanto, já foi pesquisada. *Solid waste management* é muito específica da própria publicação, então não agrega para a presente pesquisa. Contudo, *behavioural skills* e *entrepreneurship* estão no domínio das competências, assim como da primeira publicação. Então, decidiu-se pela inclusão de uma única NPC na 4ª iteração para o eixo *Engineering Education*, na categoria **Objetivo/motivação: Competence**.

### Passo 3: Definir Combinações de PC

No terceiro passo, as combinações de PC foram realizadas para cada uma das 4 iterações. Cada combinação foi realizada utilizando o operador “ou” entre as PC de um mesmo eixo e o operador “e” entre os eixos. Elas resultaram em *strings* que foram adaptadas posteriormente para cada uma das Base de Dados pesquisadas.

A *string* determinada para a 1ª Iteração da pesquisa foi:

*(“Accreditation” OR “Undergraduate” OR “Instructional Methods” OR “Industry Involvement” OR “Design-based research” OR “Design Science Research” OR “Cognitive Theories”)*

*AND*

*(“Digital Education” OR “Digital Transformation in Education” OR “Lean Education”)*

Na *string* da 2ª Iteração, apenas o 1º termo da lógica “AND” foi substituído, uma vez que NPC foram incorporadas apenas para o eixo *Engineering Education*. Assim, a *string* ficou definida como:

*(“Educational Technology” OR “remote laboratory” OR “e-learning” OR “virtual laboratory” OR “Engineering Education” OR “Learning management systems”)*

*AND*

*(“Digital Education” OR “Digital Transformation in Education” OR “Lean Education”)*

Para a 3ª Iteração, apenas a NPC *Smart Education* foi incorporada. Contudo, ela foi inserida no eixo *Education 4.0*. Assim, a nova *string* de pesquisa para esta iteração foi definida com a combinação dos termos do eixo *Engineering Education* da 1ª e da 2ª iteração. Ela está como segue:

*(accreditation OR undergraduate OR “Instructional Methods” OR “Industry involvement” OR “Design-based research” OR “Cognitive theories” OR “Design science research” OR “Educational Technology” OR “remote laboratory” OR “e-learning” OR “virtual laboratory” OR “Engineering Education” OR “Learning management systems”) AND (“Smart Education”)*

Por fim, na 4ª Iteração, apenas a NPC *competence* foi acrescida no eixo *Engineering Education*. Então, ela foi combinada com os termos da 1ª e da 3ª Iteração do eixo *Education 4.0*:

*(competence) AND (“Digital Education” OR “Digital Transformation in Education” OR “Lean Education” OR “Smart Education”)*

As 4 *strings* acima foram utilizadas nas Bases de Dados selecionadas no Passo 4. Foram priorizadas as bases que permitiram a adaptação das *strings* na parametrização das pesquisas.

#### **Passo 4: Selecionar BD por Assunto (Aderência do conceito ao assunto)**

O Passo 4 é o início da definição dos Bancos de Dados para a RSL. Para este passo, foi realizada uma análise das Bases de Dados disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), considerando a possibilidade de adaptar a *string* do Passo 3 para a realização das buscas. Inicialmente, pela descrição de cada uma das bases, 9 delas foram selecionadas: ProQuest Engineering Index, EBSCO host Academic Search Premier, Emerald Insight, IEEE Xplore, Science Direct, Wiley, Scopus e Taylor&Francis.

A ProQuest foi selecionada por possuir publicações referentes às inovações tecnológicas e da engenharia. A EBSCO possui periódicos em todas as áreas, incluindo a de engenharia e educação. Já a Emerald tem revistas e livros também na área de engenharia e educação. A IEEE não poderia ficar de fora, devido a sua importância para a área de engenharia. A base possui publicações de anais de congressos e conferências que incluem a Educação em Engenharia e a Transformação Digital. A Science Direct também inclui a área de engenharia, bem como a Scopus e a Taylor&Francis. Por fim, a Wiley hospeda as publicações da *American Society for Engineering Education (ASEE)* e outras associações para a Educação em Engenharia.

Posteriormente, a Emerald foi retirada como base de pesquisa, por não possuir uma opção de exportação dos dados para o gerenciador bibliográfico EndNote.

#### **Passo 5: Pesquisar Alinhamento BD com PC (Número de artigos para as PC)**

As *strings* do Passo 3 foram utilizadas em cada uma das Bases de Dados definidas no Passo 4 para verificar o alinhamento das PC. Com isso, foram obtidos os resultados da Tabela 9 (coluna “Bruto”). Verifica-se que as bases ProQuest e IEEE Xplore tiveram baixo número de publicações encontradas na 1ª e 2ª iteração. Por outro lado, na 2ª e 3ª iteração, os resultados foram mais expressivos para essas bases. Esses resultados foram discutidos nos Passos 6 e 7.

A pesquisa de alinhamento foi realizada em janeiro de 2020.

### Passo 6: Fixar Representatividade Desejada

Para este passo, apenas as bases com mais de 50 publicações foram consideradas para a representatividade na definição dos Bancos de Dados.

### Passo 7: Explicitar BD que contém a Amostra para a Representatividade estabelecida

Ainda na Tabela 9, nas colunas “Considerado”, verifica-se que as bases com baixo número de publicações não entraram para o total da iteração. Devido à baixa representatividade, as bases IEEE e ProQuest não foram consultadas na 1ª e 4ª iteração do Passo 8, quando há filtros limitantes e entendendo que os resultados seriam menores ainda. Contudo, elas foram utilizadas para a 2ª e 3ª iteração, quando todas as BD escolhidas possuíram representatividade, junto com os Bancos de Dados da EBSCO, ProQuest, Science Direct, Scopus, Taylor & Francis, Wiley e IEEE, definindo os **Bancos de Dados a serem consultados** (Figura 66).

Tabela 9 – Resultados quantitativos para definição dos Banco de Dados (BD).

Base	1ª Iteração		2ª Iteração		3ª Iteração		4ª Iteração	
	Bruto	Considerado	Bruto	Considerado	Bruto	Considerado	Bruto	Considerado
ProQuest Engineering Index	11	-	56	56	681	681	14	-
EBSCO host Academic Search Premier	2645	2645	16344	16344	16354	16354	496	496
IEEE Xplore	3	-	34	34	69	69	5	-
Science Direct	71	71	129	129	187	187	86	86
Wiley	63	63	65	65	116	116	84	84
Scopus	554	554	1782	1782	3859	3859	872	872
Taylor & Francis	107	107	146	146	214	214	150	150
<b>Total</b>	<b>3454</b>	<b>3440</b>	<b>18556</b>	<b>18556</b>	<b>21480</b>	<b>21480</b>	<b>1707</b>	<b>1688</b>
<b>Representatividade</b>	<b>99,59%</b>		<b>100%</b>		<b>100%</b>		<b>98,89%</b>	

Fonte: O autor.

### **Passo 8: Buscar nos BD com as PC e os filtros limitantes: Tempo; Assunto; Tipos de arquivo etc.**

No Passo 8, os seguintes filtros foram sugeridos para busca dos termos definidos no Passo 2: tempo, título, palavras-chave e resumo. Contudo, os filtros escolhidos só puderam ser configurados nos Banco de Dados da EBSCO, Science Direct e Scopus. Na Taylor & Francis, não foi possível buscar os termos nos resumos. Já na Wiley e IEEE, foi possível apenas incluir o filtro de tempo. Por outro lado, na ProQuest, não foi possível pesquisar os termos nas palavras-chave das publicações. Apesar dessas impossibilidades, os Banco de Dados foram mantidos para a pesquisa.

O filtro de tempo configurado para todas as bases foi o período de 2010 a 2020, considerando que a Indústria 4.0 teve início em 2011 e conseqüentemente a Transformação Digital que impacta a Educação em Engenharia.

Para as 4 iterações de consulta, as *strings* de combinação das PC foram utilizadas com as configurações de filtros limitantes, quando possível. Assim, obteve-se os resultados quantitativos da Tabela 10, que foi exportado para o software de Gerenciamento Bibliográfico EndNote X9.

### **Passo 9: Pela leitura dos Títulos dos artigos do Banco de Artigos Brutos, Selecionar 2 alinhados ao Tema da Pesquisa**

O passo 9 marca o início do **Teste de Aderência das PC** (Figura 66). Das 64 publicações encontradas na 1ª iteração, dois artigos foram selecionados aleatoriamente para a leitura dos seus títulos:

*"Application of virtual laboratories and molecular simulations in teaching nanoengineering to undergraduate students"* (KILANI; TORABI; MAO, 2018);  
*"Applying social networks to engineering education"* (DOĞAN; DEMIR; ÜLKÜ, 2018).

Os dois artigos foram considerados alinhados com a pesquisa, já que seus títulos apresentam os termos *virtual laboratories*, *undergraduate* e *engineering education*. Portanto, suas palavras-chave foram analisadas no Passo 10.

Com a incorporação das NPC encontradas na 2ª iteração, 133 publicações foram adicionadas. Destas, outras duas foram selecionadas ao acaso:

“*Smart education in the context of industry 4.0*” (ASSANTE et al., 2019);

“*Digital education in the classroom*” (DELGADO KLOOS et al., 2017).

Novamente, os dois artigos foram considerados alinhados pela presença das palavras-chave *Smart Education*, *Industry 4.0* e *Digital Education* nos títulos. As palavras-chave de ambos mereceram avaliação no Passo 10.

Novamente, NPC foram adicionadas. Agora, na 3ª iteração, 714 publicações foram somadas às iterações anteriores. Outra vez, mais dois artigos foram selecionados pela leitura aleatória dos títulos, verificando o alinhamento com a pesquisa:

“*An Innovative Hybrid Model for Developing Cross Domain*” (TSAI et al., 2019);

“*Integrating entrepreneurial activities in chemical engineering education: a case study on solid waste management*” (MARTÍN-LARA, 2019).

Neste caso, considerou-se que as duas publicações estão alinhadas pela presença dos termos *Innovative Hybrid Model* e novamente *engineering education*. Para o primeiro termo, levou-se em conta que modelos híbridos de aprendizagem fazem parte da Transformação Digital da Educação, enquanto o segundo termo é o nome de um dos eixos de pesquisa.

Nota-se que para a 4ª iteração, apenas 134 novas publicações foram adicionadas às iterações anteriores, somando um total de 1045 artigos para o **Banco de Artigos Brutos**

Tabela 10 – Banco de Artigos Brutos Preliminar.

Base	1ª Iteração	2ª Iteração	3ª Iteração	4ª Iteração
ProQuest Engineering Index	-	3	11	-
EBSCO host Academic Search Premier	3	21	30	5
IEEE Xplore	-	28	63	-
Science Direct	0	3	4	1
Wiley	46	63	98	76
Scopus	15	15	323	52
Taylor & Francis	0	0	185	0
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>133</b>	<b>714</b>	<b>134</b>
<b>Total com a iteração anterior</b>		<b>197</b>	<b>911</b>	<b>1045</b>

**Preliminar.** Das duas publicações selecionadas ao acaso, ambas traziam termos nos títulos já pesquisados nas iterações anteriores:

“*Lean education as a platform to close the academic and professional gap*”;  
“*The Knowledge Management Approach to Digitalization of Smart Education*”  
(DNEPROVSKAYA; SHEVTSOVA, 2018).

Apesar da presença do termo *Knowledge Management* na segunda publicação, levou-se em conta que a palavra-chave não faz parte da taxonomia para a Educação em Engenharia ou PC do eixo *Education 4.0*. Portanto, não houve NPC incorporadas na 4ª iteração.

### **Passo 10: Buscar as PC destes artigos – Novas Palavras-Chave (NPC)**

Neste passo, NPC foram buscadas. Os dois artigos selecionados aleatoriamente na 1ª iteração somaram 8 PC, sendo que 4 são NPC alinhadas com a pesquisa. Já os dois artigos escolhidos da 2ª iteração totalizaram 12 PC, contudo, apenas uma NPC estava alinhada. Por fim, a 3ª iteração somou 11 PC com os dois artigos escolhidos, mas novamente, apenas uma NPC apontou alinhamento.

### **Passo 11: Incorporar Novas PC**

Devido a presença de NPC no Passo 10, elas foram incorporadas nas respectivas iterações, conforme descrito no Passo 2.

### **Passo 12: Banco de Artigos Brutos Concluído**

Como na 4ª iteração não foram adicionadas NPC, considerou-se que o **Banco de Artigos Brutos Final** foi formado. Ele é composto por 1045 publicações que passou para a Etapa de **Filtragens do Banco de Artigos**. O ProKnow-C recomenda de 2 mil a 10 mil publicações para o Banco de Artigos Brutos Final. Entretanto, o autor desta proposta de tese, em conjunto com orientador e co-orientador concluíram que a amostra é suficiente para a RSL.

Desta forma, passou para a etapa seguinte do ProKnow-C, as Filtragens do Banco de Artigos.

## Filtragens do Banco de Artigos

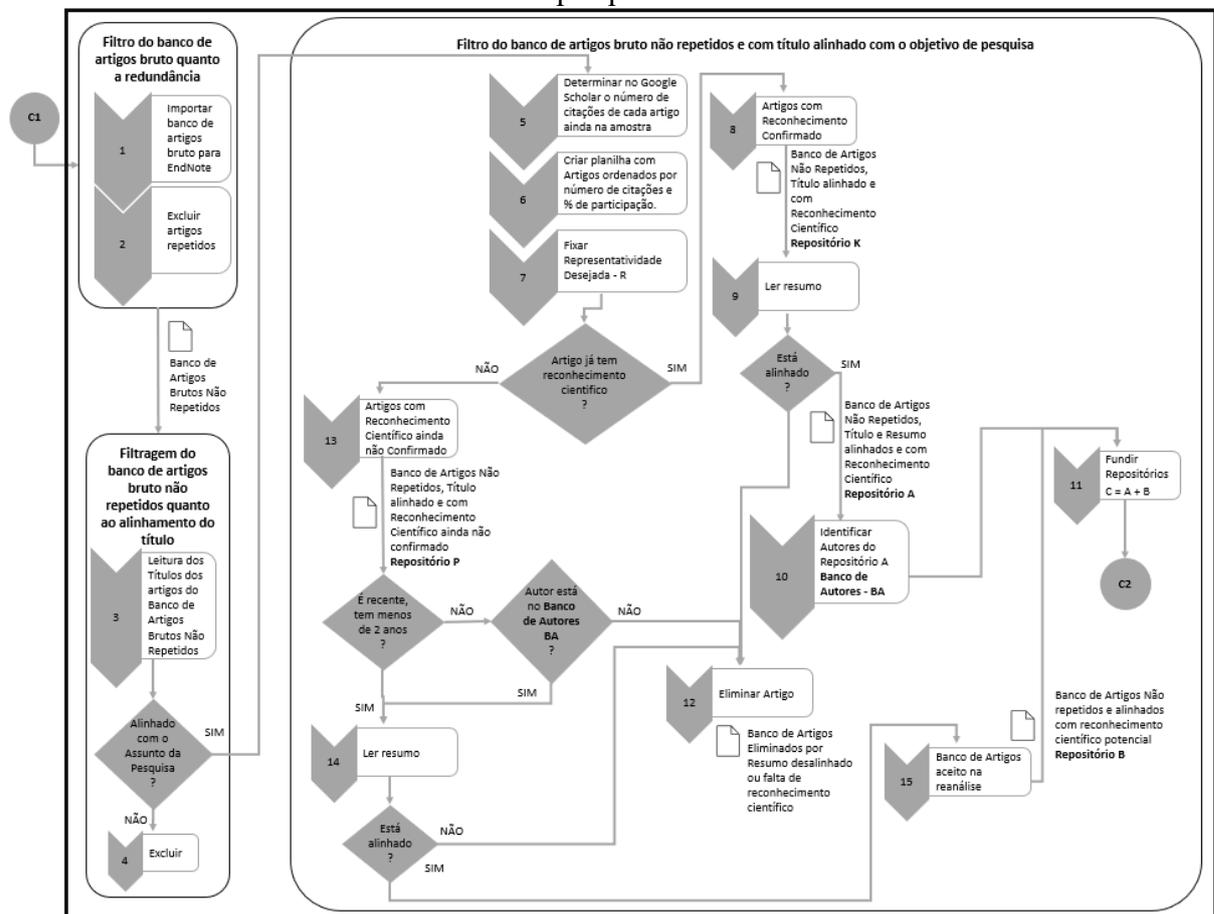
Esta etapa busca identificar os autores e periódicos mais relevantes, palavras-chave mais utilizadas e a quantidade de citações de cada artigo. A etapa é composta por 18 passos, divididos em 4 grupos: Filtro do banco de artigos bruto quanto a redundância, Filtragem do banco de artigos bruto não repetidos quanto ao alinhamento do título, Filtro do banco de artigos bruto não repetidos e com título alinhado com o objetivo de pesquisa (Figura 69), e Filtragem quanto ao alinhamento do artigo integral (Figura 70).

O grupo **Filtro do banco de artigos bruto quanto a redundância** possui 2 passos:

- 1) **Importar banco de artigos bruto para EndNote;**
- 2) **Excluir artigos repetidos.**

O grupo seguinte é o da **Filtragem do banco de artigos bruto não repetidos quanto ao alinhamento do título** e possui 2 passos, com uma estrutura de decisão entre eles:

Figura 69. Filtragens do Banco de Artigos: Filtro do banco de artigos bruto quanto a redundância, Filtragem do banco de artigos bruto não repetidos quanto ao alinhamento do título, Filtro do banco de artigos bruto não repetidos e com título alinhado com o objetivo de pesquisa.



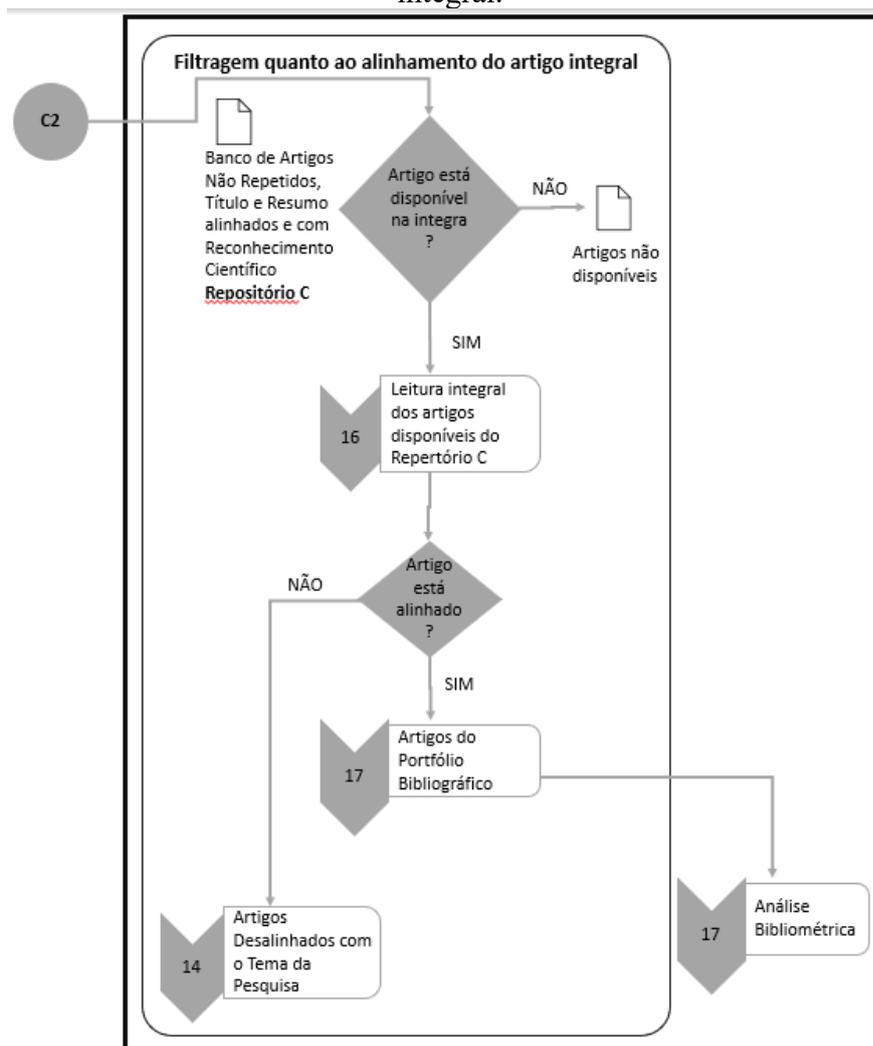
Fonte: Adaptado de ENSSLIN; ENSSLIN (2007).

- 3) **Leitura dos Títulos dos artigos do Banco de Artigos Brutos Não Repetidos;**
- 4) **Excluir.**

Já o grupo **Filtro do banco de artigos bruto não repetidos e com título alinhado com o objetivo de pesquisa** tem 11 passos com diversas estruturas de decisão:

- 5) **Determinar no Google Scholar o número de citações de cada artigo ainda na amostra;**
- 6) **Criar planilha com Artigos ordenados por número de citações e % de participação;**
- 7) **Fixar Representatividade Desejada – R;**
- 8) **Artigos com Reconhecimento Confirmado;**
- 9) **Ler resumo;**
- 10) **Identificar Autores do Repositório A – Banco de Autores – BA;**

Figura 70. Filtragens do Banco de Artigos: Filtragem quanto ao alinhamento do artigo integral.



Fonte: Adaptado de ENSSLIN; ENSSLIN (2007).

- 11) Fundir Repositórios  $C = A + B$ ;
- 12) Eliminar Artigo;
- 13) Artigos com Reconhecimento Científico ainda não Confirmado;
- 14) Ler resumo;
- 15) Banco de Artigos aceito na reanálise.

Por fim, o grupo Filtragem quanto ao alinhamento do artigo integral abrange 3 passos e duas estruturas de decisão:

- 16) Leitura integral dos artigos disponíveis do Repertório C;
- 17) Artigos do Portfólio Bibliográfico;
- 18) Artigos Desalinhados com o Tema da Pesquisa.

A explicação de cada um dos passos da etapa é descrita a seguir.

### **Passo 1: Importar banco de artigos bruto para EndNote**

O banco de artigos brutos final, composto por 1045 publicações, foi importado para o aplicativo de gerenciamento bibliográfico EndNote. Este software foi escolhido pelas funcionalidades de contabilização de palavras-chave e autores mais citados. Assim, a análise de reconhecimento científico das publicações foi possível. Um recorte da organização no EndNote é mostrado na Figura 71.

### **Passo 2: Excluir artigos repetidos**

Com o auxílio do comando *Find Duplicates* no menu *References* do EndNote, a exclusão de publicações repetidas foi realizada. Dos 1045 artigos do Banco de Artigos Final, 323 eram duplicados. Sendo assim, o **Banco de Artigos Bruto Não Repetidos** somou 722 publicações.

### **Passo 3: Leitura dos Títulos dos artigos do Banco de Artigos Brutos Não Repetidos**

Neste passo foi realizada a leitura dos títulos das 722 publicações resultantes do passo anterior. Assim, verificou-se que 352 artigos estão alinhados com o assunto de pesquisa e 316 não possuem alinhamento. Ainda, constatou-se que 30 publicações ainda eram duplicadas. Havia pequenas diferenças na escrita dos títulos que o gerenciador bibliográfico não detectou.

Contudo, alguns dos artigos foram publicados em mais de um congresso, revista ou estava em outra língua. Por fim, 24 publicações não eram artigos ou livros.

Os 352 artigos alinhados formaram o **Banco de Artigos Não Repetidos e Título Alinhado**.

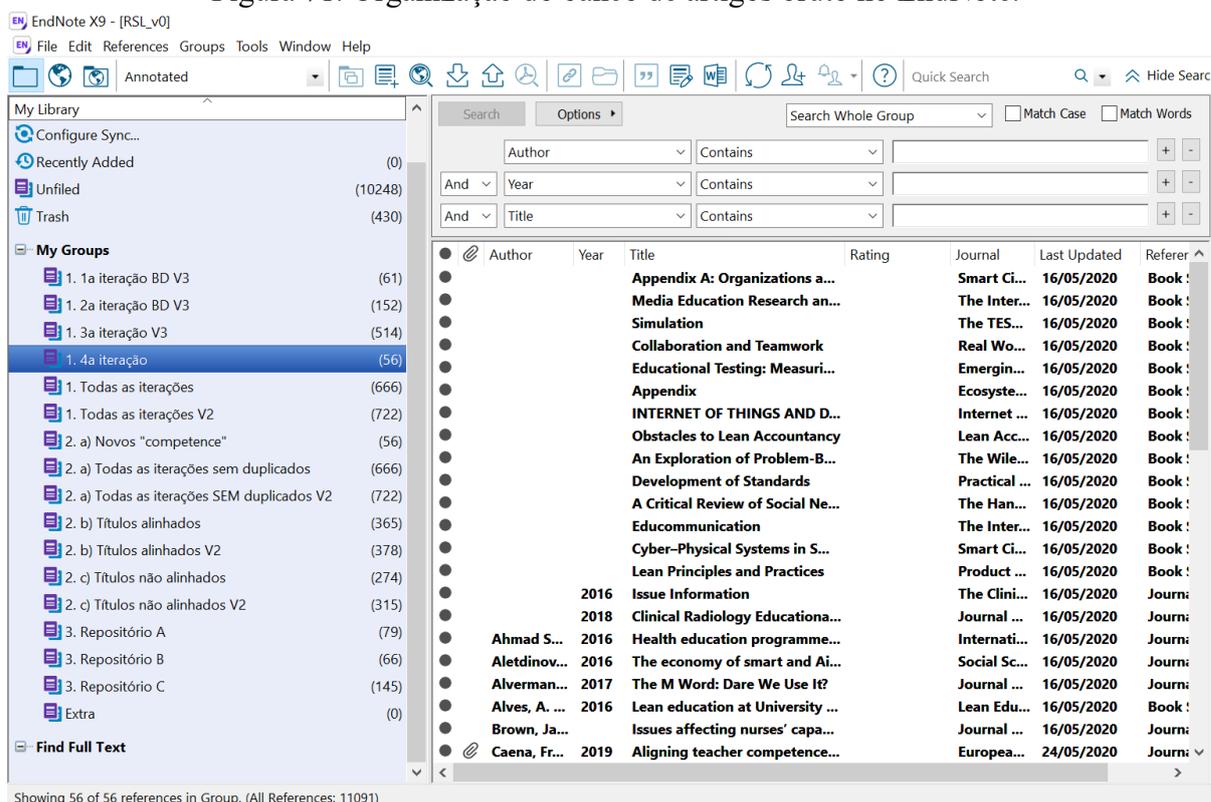
#### Passo 4: Excluir

Os artigos não alinhados, ainda duplicados ou que não eram artigos/livros somaram 370 publicações e foram excluídos, não sendo levados para a etapa de Análise Sistemática.

#### Passo 5: Determinar no Google Scholar o número de citações de cada artigo ainda na amostra

Com auxílio do EndNote, o **Banco de Artigos Não Repetidos e Título Alinhado** foi exportado em forma de planilha do Excel. Assim, o número de citações de cada artigo foi consultado e anotado.

Figura 71. Organização do banco de artigos bruto no EndNote.



Fonte: O autor.

## Passo 6: Criar planilha com Artigos ordenados por número de citações e % de participação

A planilha já tinha sido criada no passo anterior. Para este passo, bastou ordenar as linhas pelo número citações de maneira decrescente e acrescentar o percentual de participação de cada artigo. Os 352 artigos somaram 4467 citações no total.

Um recorte da planilha com a ordenação por número de citações é apresentado na Figura 72.

## Passo 7: Fixar Representatividade Desejada – R

O ponto de corte para a Representatividade R foi fixado em 96% (Figura 73). Assim, as publicações mais citadas estão representadas em 157 artigos do **Banco de Artigos Não Repetidos e Título Alinhado**. Os artigos que estão dentro de R são considerados detentores de reconhecimento científico confirmado e seguiram o fluxo para a leitura do resumo. Por outro lado, as publicações fora de R não possuem reconhecimento científico confirmado e precisaram passar por uma análise referente ao tempo de publicação. Além disso, foi necessário verificar se os autores constavam no Banco de Autores (BA) dos artigos com reconhecimento científico.

Figura 72. Citações e participação dos artigos do Banco de Artigos Não Repetidos e Título Alinhado.

Seq	Autor	Ano	Título	Representatividade %	%	Citações	Journal
1	S. Livingstone	2012	Critical reflections on the benefits of ICT in education	14,64	14,64	654	Wiley Encyclopedia of Management
2	M. S. Henderson, Neil	2017	What works and why? Student perceptions of 'useful' digital technology in university tea	21,36	6,72	300	Mobile Learning
3	A. J. C. Karabulut-Ilgu	2018	A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education	25,16	3,81	170	The Wiley Handbook of Global Educational Reform
4	M.-H. S. Cho, Demei	2013	Self-regulation in online learning	28,90	3,74	167	The Wiley Handbook of Global Educational Reform
5	S. Bayne	2015	What's the matter with 'technology-enhanced learning'?	32,46	3,56	159	The Wiley Handbook of Learning Technology
6	P. Prinsloo	2020	Big data in education. The digital future of learning, policy and practice	35,93	3,47	155	The Wiley Handbook of Global Workplace Learning
7	Livro		Instructional Management and Levels of Technology Access	38,77	2,84	127	Learner Support in Online Learning Environments
8	B. W. M. Oppenheim,	2011	Lean Enablers for Systems Engineering	41,39	2,62	117	Competence and Program-based Approach in Training
9	N. Selwyn	2016	Minding our language: why education and technology is full of bullshit ... and what migh	43,94	2,55	114	Digitalization of Society and Socio-political Issues 1
10	G. C. Hallam, Tracy	2010	ePortfolio use by university students in Australia: a review of the Australian ePortfolio P	45,91	1,97	88	National Education Technology Plan
11	G. H. Porter, Kate://M	2016	Mobile Phones and Education in Sub-Saharan Africa: From Youth Practice to Public Polic	47,88	1,97	88	Concurrency and Computation: Practice and Experience
12	J. S. K. Jeong, M.://Yo	2013	A content oriented smart education system based on cloud computing	49,83	1,95	87	Global Business and Organizational Excellence
13	M. S. Henderson, Neil	2015	Students' everyday engagement with digital technology in university: exploring patterns	51,65	1,81	81	Research in Learning Technology
14	N. Selwyn	2016	Digital downsides: exploring university students' negative engagements with digital tech	53,41	1,77	79	New Directions for Student Services
15	M. A. Venable	2010	Using Technology to Deliver Career Development Services: Supporting Today's Students i	55,12	1,70	76	New Directions for Student Leadership

Fonte: O autor.

Figura 73. Ponto de corte para a representatividade das publicações em 96%.

Seq	Autor	Ano	Título	Representatividade %	%	Citações	Journal
148	J. H. C. Park, J. W.://Le	2013	Analysis of instruction models in smart education	96,37	0,07	3	International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engi
149	Y. S. A. Park, S. J.://Le	2013	Direction of contents development for smart education	96,44	0,07	3	8th International Conference on Measuring Technology a
150	J. M. R.-V. Sancho-Gil,	2020	Moving beyond the predictable failure of Ed-Tech initiatives	96,51	0,07	3	2017 SAI Computing Conference 2017
151	G. Sandhu	2018	The Role of Academic Libraries in the Digital Transformation of the Universities	96,57	0,07	3	Assessment & Evaluation in Higher Education
152	N. V. S. Semenova, E. J.	2017	The realities of smart education in the contemporary Russian universities	96,64	0,07	3	2nd International KES conference on Smart Education an
153	N. A. S. Serdyukova, V	2019	Smart education analytics: Quality control of system links	96,71	0,07	3	International Journal of Advanced Manufacturing Techno
154	I. M. A. P. K. Shubenk	2018	Blended Learning Technologies in the Automotive Industry Specialists' Training	96,78	0,07	3	British Journal of Educational Technology
155	J. M. A. Spector, Eben	2018	Smart learning futures: a report from the 3csuprd</sup> US-China smart education cor	96,84	0,07	3	Journal of Computer Assisted Learning
156	M. S. Tsvetkova	2016	The ICT competency MOOCs for teachers in Russia	96,91	0,07	3	Smart Innovation, Systems and Technologies
157	J. Yu	2018	Research on Key Development Technologies for SPOC Platform	96,98	0,07	3	Computer Applications in Engineering Education
158			INTERNET OF THINGS AND DATA ANALYTICS IN THE CLOUD WITH INNOVATION AND SUST	97,02	0,04	2	
159		2020	The Knowledge Management Approach to Digitalization of Smart Education	97,07	0,04	2	
160		2020	Problems of adaptation of technical university graduates in the formation conditions of	97,11	0,04	2	
161			Digital Education in Career and Technical Education and the Support of Creative Professi	97,16	0,04	2	Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Lear
162	N. M. Alsharari	2019	Internationalization market and higher education field: institutional perspectives	97,20	0,04	2	Learning, Media and Technology

Fonte: O autor.

### **Passo 8: Artigos com Reconhecimento Confirmado**

Das 352 publicações, 157 artigos foram considerados como os que possuem reconhecimento científico confirmado, ou seja, dentro de R. Eles formaram o **Banco de Artigos Não Repetidos, Título alinhado e com Reconhecimento Científico**, ou simplesmente, **Repositório K**. Estes artigos seguiram para a leitura do resumo.

### **Passo 9: Ler Resumo**

A partir da leitura dos resumos dos artigos com reconhecimento científico confirmado, houve análise de alinhamento. Se há alinhamento, os artigos formaram o **Banco de Artigos Não Repetidos, Título e Resumo alinhados e com Reconhecimento Científico**, ou simplesmente, **Repositório A**. Caso contrário, os artigos foram encaminhados ao Passo 12, para eliminação.

Dos 157 artigos, 107 apresentaram alinhamento com a pesquisa e foram adicionados ao Repositório A. Os outros 50 foram encaminhados para a exclusão no Passo 12.

### **Passo 10: Identificar Autores do Repositório A Banco de Autores – BA**

A partir do **Repositório A**, a identificação de autores foi realizada, pois o **Banco de Autores (BA)** é utilizado na análise dos artigos sem reconhecimento científico. Para o BA, 130 autores foram identificados.

### **Passo 11: Fundir Repositórios – $C = A + B$**

Os repositórios A e B foram somados no Passo 11. Esta junção formou o **Repositório C**, que foi enviado para o grupo de **Filtragem quanto ao alinhamento do artigo integral**.

O Repositório A possui 107 artigos, enquanto o Repositório B tem 80 publicações. Portanto, o Repositório C foi constituído com 187 artigos. Contudo, é sugerido que o Repositório C tenha menos que 40 publicações. Mesmo assim, os artigos foram enviados para o Passo 16 (Leitura integral).

### **Passo 12: Eliminar Artigo**

O passo 12 possui o **Banco de Artigos Eliminados por Resumo desalinhado ou falta de reconhecimento científico**. Estas publicações são oriundas das leituras dos resumos (Passos 9 e 14), onde houve verificação do alinhamento com a pesquisa, ou da análise do tempo de publicação e se possui autores no BA (Passo 13). Ao todo, 160 artigos foram eliminados neste passo.

### **Passo 13: Artigos com Reconhecimento Científico ainda não Confirmado**

O Passo 13 gerou o **Banco de Artigos Não Repetidos, Título alinhado e com Reconhecimento Científico ainda não confirmado**, ou simplesmente, **Repositório P**, que foi composto por 190 publicações. Estas publicações passaram por uma análise do tempo de publicação, se são recentes ou não, ou seja, com menos de 2 anos de publicação. No caso de artigos com mais de 2 anos, os nomes dos autores foram consultados no BA. Se os autores não constaram no BA, os artigos foram enviados ao Passo 12 para eliminação. Caso contrário, o artigo foi submetido a leitura do resumo (Passo 14).

Dos 190 artigos, 127 apresentaram publicação inferior a 2 anos e foram encaminhados diretamente para a leitura do resumo. Dos 62 com mais de 2 anos, apenas 9 artigos continham autores presentes no BA e que foram encaminhados para o Passo 14.

### **Passo 14: Ler Resumo**

No Passo 14, 136 resumos de artigos do **Repositório P**, recentes e não recentes, mas com autores presentes no BA, foram lidos. Se não houve alinhamento com a pesquisa, os artigos foram enviados ao Passo 12 para eliminação. Dos artigos recentes, 46 não apresentaram alinhamento com a pesquisa, bem como 5 das mais antigas, somando 51 publicações encaminhadas para eliminação.

Caso contrário, os artigos foram enviados ao Passo 15.

### **Passo 15: Banco de Artigos aceito na reanálise**

A partir deste passo, o **Banco de Artigos Não repetidos e alinhados com reconhecimento científico potencial**, ou simplesmente, **Repositório B**, foi constituído. O Repositório B possui 80 publicações, sendo 77 artigos recentes e 4 antigos que foram avaliados como alinhados à pesquisa.

### **Passo 16: Leitura integral dos artigos disponíveis do Repositório C**

Antes do Passo 16, há uma estrutura de decisão para verificar se os artigos do Repertório C estão disponíveis na íntegra. Caso negativo, os artigos foram classificados como **Artigos não disponíveis**. Em caso positivo, eles foram analisados quanto ao alinhamento à pesquisa.

Dos 187 artigos, apenas 4 estavam sem acesso pelo Portal de Periódicos da CAPES. Assim, 183 artigos foram analisados quanto ao alinhamento com a pesquisa. Sendo que os alinhados foram encaminhados ao Passo 17 (**Artigos do Portfólio Bibliográfico**) e os desalinhados, ao Passo 18 (**Artigos Desalinhados com o Tema da Pesquisa**).

Devido a quantidade elevada de artigos para a leitura integral, optou-se pela inclusão do PROTOLIT para a priorização de análise, conforme o processo de tomada de decisão multicritério. A Figura 74 mostra um recorte do ranking de artigos que foram submetidos a análise de alinhamento com a pesquisa.

Para a análise de alinhamento das publicações, o aplicativo Mendeley foi utilizado para o fichamento. Por meio desse software, marcações de texto foram realizadas, anotações redigidas e os artigos foram marcados como “favoritos”, quando foram considerados alinhados.

### **Passo 17: Artigos do Portfólio Bibliográfico**

A partir da leitura integral, 134 artigos foram considerados alinhados à pesquisa, ou seja, 71,66% das publicações. Eles compõem a base de artigos submetidos à análise bibliométrica.

Nota-se que ainda é um número elevado de artigos para a composição do Portfólio Bibliográfico. Em uma primeira análise, considerou-se que os temas envolvidos nos eixos da pesquisa são amplos, por mais que tentou-se limitá-los a pesquisa com as PCs. Considerando

este cenário, uma classificação adicional foi realizada sobre as publicações: se são referentes à Educação em Engenharia. Isto foi realizado, pois muitas contribuições envolvem a universidade como um todo. Por exemplo, temas aplicados a outras áreas de ensino, mas que poderiam ser testados na Educação em Engenharia. Ou ainda, métodos de ensino-aprendizagem, por exemplo, que podem ser aplicados a quaisquer cursos superiores, incluindo os cursos de engenharia. Com essa classificação adicional, verificou-se que 71 artigos estão relacionados à Educação em Engenharia. Os outros 63 envolvem outras áreas de ensino superior ou a esfera de uma universidade, mas que poderiam impactar nos cursos de engenharia.

### Passo 18: Artigos Desalinhados com o Tema da Pesquisa

Apenas 53 publicações encontraram-se desalinhadas com a proposta desta pesquisa. Elas não foram marcadas como “favoritas” e não mereceram anotações no Mendeley.

A próxima etapa do ProKnow-C é a de análise bibliométrica que será explicada a seguir.

### Análise Bibliométrica com apoio do PROTOLIT

O PROTOLIT (LOURES et al., 2020) possui registro no INPI, na categoria programa de computador, e foi desenvolvido como Processo de Tomada de Decisão Multicritério em Revisão Sistemática da Literatura em Pesquisas Científicas. A ferramenta é resultado das metodologias AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (SAATY, 2005) e TOPSIS (*Technique for* Figura 74. Ranking de artigos que foram submetidos a análise de alinhamento com a pesquisa.

98%	TÍTULO	Autores	Ano da Publicação	Publicação - Classificação Internacional	Número de Citações do Artigo	Competence	Engineering Education	Education 4.0	Smart Education	Undergraduate	E-learning	Arquivo PDF	LEITURA	ANÁLISE
1	What works and why? Student perceptions of 'useful' digital technology in university teaching and learning	M. S. Henderson, Neil://Aston, Rachel	2017	Q1	300	POUCO ADERENTE	POUCO ADERENTE	ADERENTE PARCIAL	BEM ADERENTE	TOTAL ADERÊNCIA	BEM ADERENTE	0	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo de Mendeley
2	Digitalisation trends and blended learning visualisation in modern digital education	A. V. S. Danilov, L. L.://Tursunova, N. B.://Anyameluhor, N.	2019	Q4	0	ADERENTE PARCIAL	NÃO ADERENTE	ADERENTE PARCIAL	TOTAL ADERÊNCIA	BEM ADERENTE	TOTAL ADERÊNCIA	0	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo de Mendeley
3	Promoting and implementing digital STEM education at secondary schools in Africa	U. i. //iwet, B.://Beheton, S.://Farah, J. C.://Dikke, D.://Noutahi, A.://Hassan	2019	Q2	0	TOTAL ADERÊNCIA	TOTAL ADERÊNCIA	POUCO ADERENTE	BEM ADERENTE	NÃO ADERENTE	BEM ADERENTE	0	OK	Não alinhado
4	The smart classroom as a means to the development of ESD methodologies	0	2020	Q2	0	TOTAL ADERÊNCIA	ADERENTE PARCIAL	NÃO ADERENTE	TOTAL ADERÊNCIA	BEM ADERENTE	POUCO ADERENTE	0	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo de Mendeley
5	The knowledge and importance of Lean Education based on academics' perspectives: an exploratory study	A. C. L. Alves, Celina P.://Uebe-Mansur, André F.://Kury, M. Inês R. A.	2020	Q2	0	TOTAL ADERÊNCIA	TOTAL ADERÊNCIA	BEM ADERENTE	TOTAL ADERÊNCIA	TOTAL ADERÊNCIA	NÃO ADERENTE	0	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo de Mendeley
6	An Analytical Study Towards the UAE Universities Smart Education Innovated Approaches	S. S. A. B. Mohamed, N. B.://Saïd, H.	2018	Q1	0	NÃO ADERENTE	BEM ADERENTE	TOTAL ADERÊNCIA	TOTAL ADERÊNCIA	TOTAL ADERÊNCIA	BEM ADERENTE	0	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo de Mendeley

Fonte: O autor.

*Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) (HWANG; YOON, 1981). Ela auxilia na ordenação de publicações selecionadas para leitura, de acordo com os pesos escolhidos para os critérios selecionados pelos pesquisadores. Sendo assim, a ferramenta foi adicionada a esta RSL, devido a quantidade elevada de artigos alinhados e selecionados para a leitura integral.

O PROTOLIT é um arquivo desenvolvido no aplicativo Microsoft Excel e possui 4 planilhas: *Critérios*, *Pairwise*, *Lista\_Artigos* e *Ranking\_Artigos*. Cada uma das planilhas foi preenchida seguindo o tutorial sugerido para a ferramenta.

## Critérios

A descrição dos critérios foi realizada nesta planilha, para que houvesse a comparação utilizando o método AHP programado no PROTOLIT, bem como a ordenação pelo método TOPSIS. A planilha permite a inserção de até 10 critérios de livre escolha dos pesquisadores. Neste projeto de pesquisa, os critérios de priorização levaram em conta o ano de publicação, a classificação internacional dos periódicos, o número de citações, o número de palavras-chave aderentes aos eixos de pesquisa e 6 PCs consideradas como as mais importantes: *Competence*, *Engineering Education*, *Education 4.0*, *Smart Education*, *Undergraduate* e *E-learning* (Figura 75).

O critério “Ano de Publicação” recebeu Peso igual a 19%, considerando que inovações para a Educação em Engenharia poderiam estar presentes em publicações mais recentes. Portanto, foi o critério com maior peso. Ao critério “Periódico – Classificação Internacional” foi atribuído um Peso de 17%, levando em conta que os artigos de destaque foram publicações em periódicos com bom reconhecimento científico. Assim, como no ProKnow-C, o reconhecimento científico também pode ser incorporado no PROTOLIT, considerando o

Figura 75. Critérios e Pesos utilizados no PROTOLIT.

PROTOLIT					Referência
PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO na REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA em PESQUISA CIENTÍFICA					
Soma dos Pesos	CRITÉRIOS	Peso do Critério Utilizado	Escala Mínima	Escala Máxima	AHP Pairwise Peso do Critério
100%	1 Ano da Publicação	19,00%	1	10	23,93%
	2 Periódico - Classificação Internacional	17,00%	1	10	13,12%
	3 Número de Citações do Artigo	14,00%	1	10	7,11%
	4 No. Palavras-Chaves aderentes com os Eixos da Pesquisa	11,00%	1	10	7,17%
	5 Competence	4,00%	1	10	4,67%
	6 Engineering Education	9,00%	1	10	11,40%
	7 Education 4.0	9,00%	1	10	11,26%
	8 Smart Education	9,00%	1	10	9,81%
	9 Undergraduate	4,00%	1	10	3,86%
	10 E-learning	4,00%	1	10	7,68%

Fonte: O autor.

número de citações de cada publicação. Assim, o critério “Número de Citações do Artigo” teve Peso igual a 14%. Outro critério importante é o “No. Palavras-Chave aderentes com os Eixos de Pesquisa”. Para este, 11% foi o Peso escolhido, considerando que as palavras-chave dos artigos (quando houve) mostraram quando um artigo poderia estar alinhado ao projeto de pesquisa. As PCs *Engineering Education*, *Education 4.0* e *Smart Education* receberam Peso de 9% cada, devido a frequência de aparecimento durante a seleção de artigos usando o ProKnow-C. As duas primeiras PCs são nos nomes dos eixos de pesquisa, enquanto a terceira apresentou grande frequência e relevância nas publicações. Por fim, as PCs *Competence*, *Undergraduate* e *E-learning* tiveram Peso de 4%, para delimitar a pesquisa considerando a formação por competências para o nível de graduação com a incorporação do ensino à distância. A soma de todos os critérios deve ser igual a 10%.

### *Pairwise*

Esta planilha usa o método AHP para realizar comparações dos critérios por pares. Ou seja, cada um dos critérios é comparado aos outros nove (

). A planilha possui dois botões (A e B) em cada uma das linhas para configuração visual do nível de preferência entre os critérios comparados (colunas “ALTERNATIVA / CRITÉRIO A” e “ALTERNATIVA / CRITÉRIO B”), de acordo com a Escala SAATY (2005)

Figura 76. *Pairwise*: recorte da planilha de comparação dos critérios utilizados no PROTOLIT.

PROTOLIT PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO na REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA em PESQUISA CIENTÍFICA			CR: CONSISTENTE	9,531%	COMPARAÇÃO PARES A & B
ALTERNATIVA / CRITÉRIO A <small>Saaty</small>					<small>Saaty</small> ALTERNATIVA / CRITÉRIO B
1	Ano da Publicação	3 Moderadamente preferido	<input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> A		1/3 Periódico - Classificação Internacional
2	Ano da Publicação	4 Moderado a forte	<input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> A		1/4 Número de Citações do Artigo
3	Ano da Publicação	5 Fortemente preferido	<input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> A		1/5 No. Palavras-Chaves aderentes com os Eixos da Pesquisa
4	Ano da Publicação	8 Muito Forte a extremo	<input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> A		1/8 Competence
5	Ano da Publicação	3 Moderadamente preferido	<input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> A		1/3 Engineering Education
6	Ano da Publicação	1 Igualmente preferido	<input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> A		1 Education 4.0

Fonte: O autor.

de importância relativa (Tabela 11). O Índice de Consistência (CR) presente na planilha *Pairwise* deve ser inferior a 10%. Este valor é calculado automaticamente pelo método AHP e o resultado veio das comparações dos pares. Caso o valor fosse superior a 10%, a configuração de preferência dos critérios deveria ser ajustada até que se chegasse a um valor inferior a 10%.

### **Lista\_Artigos**

Os dados das 187 publicações resultantes do Passo 11 do ProKnow-C foram inseridos na planilha Lista\_Artigos do PROTOLIT para ordenação. Principalmente, os dados referentes aos critérios de 1 a 4: o ano de publicação, a classificação internacional dos periódicos, o número de citações e o número de palavras-chave aderentes aos eixos de pesquisa. A ordem com que as publicações são inseridas na planilha não importa. Entretanto, os artigos foram adicionados na ordem do número de citações (Figura 77).

Além dos dados referentes aos critérios de 1 a 4, o título, os autores, o número de autores e as palavras-chave dos artigos também foram inseridos. A partir disso, a classificação de aderência das publicações foi realizada nos critérios 5 a 10. A escala de aderência possui 5 valores verbais: NÃO ADERENTE, POUCO ADERENTE, ADERENTE PARCIAL, BEM ADERENTE e TOTAL ADERÊNCIA. Com isso, a aderência de cada artigo foi classificada pelo título, pelo resumo e pelas palavras-chave.

Tabela 11 – Escala Saaty de importância relativa.

<b>Escala</b>	<b>Avaliação Numérica</b>	<b>Recíproco</b>
Extremamente preferido	9	1/9
Muito forte a extremo	8	1/8
Muito fortemente preferido	7	1/7
Forte a muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Moderado a forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Igual a moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

Fonte: (SAATY, 2005).

A planilha Lista\_Artigos também conta com as colunas LEITURA e ANÁLISE para fins de controle. A primeira foi preenchida com “OK” para marcar quando uma leitura foi realizada, enquanto a segunda serviu para inserir informações resultantes da leitura.

## Ranking\_Artigos

A planilha Ranking\_Artigos possui a ordenação TOPSIS dos 187 artigos (um recorte da planilha é ilustrado na Figura 77), conforme os critérios e pesos selecionados para o método AHP. Por este meio, é possível realizar a leitura integral dos artigos resultantes do Passo 16 do ProKnow-C.

Esta planilha não necessita de ajustes do usuário. Quando uma publicação é marcada como lida na planilha Lista\_Artigos, a linha respectiva da planilha Ranking\_Artigos é preenchida com a cor verde. Quando um artigo não estava alinhado, na coluna “ANÁLISE” ele foi classificado como “Não alinhado” e foi excluído do portfólio bibliográfico desta proposta de tese. Por outro lado, quando houve alinhamento, a célula correspondente da coluna “ANÁLISE” foi preenchida com “Ver resumo no ProKnow-C ou resumo do Mendeley”, já que o fichamento foi realizado com auxílio deste aplicativo.

O artigo “*Smart computing based student performance evaluation framework for engineering education*” (VERMA; SOOD; KALRA, 2017) foi selecionado para a comprovação da ordenação TOPSIS. O artigo foi publicado em um periódico classificado como Q1, possui 13 citações e 3 palavras-chave alinhadas com os eixos de pesquisa. Além disso, a publicação tem TOTAL ADERÊNCIA nos critérios de 5 a 8, enquanto é BEM ADERENTE no critério 9 Figura 77. Lista\_Artigos: recorte da planilha com os dados das publicações selecionadas para ordenação.

ITEM	Critério 1 Ano da Publicação	TÍTULO	Arquivo PDF	Autores	Critério 2 Periódico - Classificação Internacional	Critério 3 Número de Citações do Artigo	Critério 4 No. de Autores	Critério 5 No. Palavras- Chaves aderentes com os Eixos de Pesquisa	Critério 6 PALAVRAS-CHAVE do Artigo	Critério 7 Competence	Critério 8 Engineering Education	Critério 9 Education 4.0	Critério 10 Smart Education	Critério 11 Undergradua te	Critério 12 E-learning	LEITURA	ANÁLISE
1	2017	What works and why? Student perceptions of 'useful' digital technology in university teaching and learning		M. S. Henderson, Neil//Aston, Rachel	Q1	300	2	4	internet; student conceptions; student experiences; technology; undergraduates	POUCO ADERENTE	POUCO ADERENTE	ADERENTE PARCIAL	BEM ADERENTE	TOTAL ADERÊNCIA	BEM ADERENTE	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo do Mendeley
2	2018	A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education		A. I. C. Karahalidop, Nadia//Lahrea, Charles T.	Q1	170	2	0		POUCO ADERENTE	TOTAL ADERÊNCIA	ADERENTE PARCIAL	ADERENTE PARCIAL	POUCO ADERENTE	BEM ADERENTE	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo do Mendeley
3	2013	Self-regulation in online learning		M.H. S. Cho, Demel	Q1	167	1	0		NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	POUCO ADERENTE	POUCO ADERENTE	POUCO ADERENTE	BEM ADERENTE	OK	Não alinhado
4	2020	Big data in education. The digital future of learning, policy and practice		P. Prinsloo	X	155	1	0		NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	OK	Não alinhado
5	2016	Minding our language: why education and technology is full of bullshit ... and what might be done about it		N. Seheyn	Q1	114	1	0		NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	OK	Não alinhado
6	2010	ePortfolio use by university students in Australia: a review of the Australian ePortfolio Project		G. C. Hallam, Tracy	Q1	88	1	4	Australian ePortfolio Project; Community of practice; Higher education; ePortfolios	BEM ADERENTE	ADERENTE PARCIAL	POUCO ADERENTE	BEM ADERENTE	TOTAL ADERÊNCIA	TOTAL ADERÊNCIA	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo do Mendeley
7	2015	Students' everyday engagement with digital technology in university: explore patterns of		M. S. Henderson, Neil//Fisher	Q2	81	4	3	digital technology; internet; students; technology-enabled	NÃO ADERENTE	NÃO ADERENTE	ADERENTE	POUCO	TOTAL	BEM	OK	Ver resumo no ProKnow-C ou resumo do Mendeley

Fonte: O autor.

e ADERENTE PARCIAL no critério 10. A publicação estava na 38º colocação (Lista\_Artigos) para leitura, seguindo apenas o número de citações. Contudo, ela passou a ocupar o 96º lugar (Ranking\_Artigos), devido aos 10 critérios do PROTOLIT. A publicação perdeu priorização, devido ao Ano da Publicação, critério de maior peso no método AHP.

Outro exemplo pode ser visto na publicação “*The knowledge and importance of Lean Education based on academics’ perspectives: an exploratory study*” (ALVES et al., 2020). A publicação foi efetivada em um periódico Q2, não tinha citações e apenas 2 palavras-chave alinhadas. Apresentou TOTAL ADERÊNCIA nos critérios 5, 6, 8 e 9, enquanto foi BEM ADERENTE no critério 7 e NÃO ADERENTE no 10. Sua posição na planilha Lista\_Artigos era a 141ª. Na ordenação TOPSIS, passou a ocupar o 5º lugar, priorizando o ano de publicação.

### **Análise Bibliométrica pelas Palavras-Chave**

Ao todo, 244 palavras-chave foram encontradas nas 134 publicações alinhadas a esta proposta de tese. Sendo assim, a normalização de palavras-chave foi realizada quando possível, de acordo com a Taxonomia para a Educação em Engenharia (FINELLI; BORREGO; RASOULIFAR, 2015). Os termos não possíveis de normalização não tinham sinônimos ou similares na Taxonomia. Depois da normalização, a quantidade de palavras-chave foi reduzida a 69 termos.

Por exemplo, o termo *e-Learning* é sinônimo para *Educational Technologies*, conforme a Taxonomia. Portanto, a frequência dos dois termos foi somada. E termos similares a *Educational Technologies* foram somados a este, como: *digital learning resources*, *technology-enabled learning*, *IoT-based classroom*, *technology-enhanced learning*, *cyber-physical systems*, *augmented reality* e outros. Outro exemplo foi para o termo *Remote Laboratory* que possui o seu par na taxonomia: *Virtual Laboratory*. Por sua vez, a palavra-chave *Learning Methodologies* foi encontrada 9 vezes, mas para a taxonomia, o termo foi normalizado para *Instructional Methods*, que possui o sinônimo *Pedagogy*.

Uma nuvem de palavras foi gerada após a normalização, com o objetivo de se enxergar graficamente as palavras-chave que mais se destacaram na revisão sistemática da literatura (Figura 4). As Top 20 palavras-chave mais usadas pelos autores estão na Tabela 1, com uma coluna indicando a quantidade de artigos que usaram os termos. Na tabela também é indicado quando a palavra-chave está presente na Taxonomia.

Finalizada a análise bibliométrica, seguiu-se para a terceira etapa do ProKnow-C, a análise sistêmica com auxílio de lentes (2.1 ANÁLISE SISTEMÁTICA –).