

**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

MARIA ÂNGELA DE SOUZA FERNANDES

COMPETÊNCIAS COMPORTAMENTAIS NA FORMAÇÃO  
E PROFISSIONALIZAÇÃO DO ENGENHEIRO PARA ATUAÇÃO NA  
INDÚSTRIA 4.0: COLABORAÇÃO ENGENHEIRO-MÁQUINA COM APLICAÇÃO  
DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Rio de Janeiro

2021

F363 Fernandes, Maria Ângela de Souza.

Competências comportamentais na formação e profissionalização do engenheiro para atuação na indústria 4.0: colaboração engenheiro-máquina com aplicação de inteligência artificial. / Fernandes, Maria Ângela de Souza. -- 2021.

140 f. ; figs.; quadros.

Tese (Doutorado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação) - Academia de Propriedade Intelectual Inovação e Desenvolvimento, Divisão de Programas de Pós-Graduação e Pesquisa, Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, Rio de Janeiro, 2021.

Orientadora: Prof. Dra. Adelaide Maria de Souza Antunes..

Co-Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Rodrigues.

1. Competência comportamental. 2. Indústria 4.0. 3. Colaboração engenheiro-máquina. 4. Inteligência Artificial. I. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil).

658.3:620.1

CDU:

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta Tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Maria Ângela de Souza Fernandes

**Competências comportamentais na formação e profissionalização do engenheiro para atuação na indústria 4.0: colaboração engenheiro-máquina com aplicação de inteligência artificial**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora, ao Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Inovação, do Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

Orientadora: Profa. Dra. Adelaide Maria de Souza Antunes

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Rodrigues

Rio de Janeiro

2021

Maria Ângela de Souza Fernandes

**Competências comportamentais na formação e profissionalização do engenheiro para atuação na indústria 4.0: colaboração engenheiro-máquina com aplicação de inteligência artificial**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora, ao Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Inovação, do Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**Aprovada em 10 de fevereiro de 2021.**

Orientadora:            Prof. Dra. Adelaide Maria de Souza Antunes  
                                  Instituto Nacional da Propriedade Industrial

Coorientador:         Prof. Dr. Ricardo Carvalho Rodrigues  
                                  Instituto Nacional da Propriedade Industrial

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Elizabeth Ferreira da Silva  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

Prof. Dr. Sergio Paulino de Carvalho  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

Prof. Dr. Marcos do Couto Bezerra Cavalcanti  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dra. Claudia Canongia  
Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República

Dr. Marcello José Pio  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Dr. Wendel Rodrigues Cezário  
Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros da banca examinadora encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Rio de Janeiro

2021

## Dedicatória

Para Sananda-Joseph-Schoenstatt e meus maravilhosos pais Goar e Dora, por proporcionarem tudo para esta jornada!

## AGRADECIMENTOS

A Capes, professores e cientistas do Instituto Fraunhofer de Sistemas de Produção e Tecnologia de Design (Fraunhofer IPK-Berlim) – Prof. Dr. eng. Ulmann, Prof. Dr. eng. Stark, Dr. eng. Michael Schmitz, Dr. eng. David Domingos, Dra. eng. Elizabeth Brandenburg, Andreas Geiger, Stephan Moenchinger e Daniel Rolon – pelas memoráveis experiências.

A minha orientadora, Profa. Dra. eng. Adelaide Antunes por nortear experiências incríveis e me inspirar com sua instigante inteligência e generosidade!

Ao Prof. Dr. Soren Salomo, da Universidade Técnica de Berlim, por proporcionar acesso a suas inspiradoras aulas de gestão da inovação.

A coordenação e aos professores da Academia de Propriedade Intelectual Inovação e Desenvolvimento do INPI pela oportunidade e ensinamentos; ao Prof. Dr. Ricardo Rodrigues pela coorientação, a Patrícia Trotte e ao Evanildo pela atenção e apoio.

Aos colegas pelos debates, especialmente a meu amigo e parceiro intelectual eng. Cesar Vianna Moreira Júnior, por nossa sinergia e vasta produção em conjunto nos trabalhos de disciplinas, artigos para apresentação em seminários, publicação em periódicos e em capítulos de livro.

Ao Prof. Dr. José Geraldo Pereira Barbosa, pelo incentivo e orientação no mestrado na temática inovação e criatividade.

A Profa. MSc. Maria Alba de Souza, pela inspiração e sensacionais oportunidades de atuação na área de educação, incluindo projetos de avaliação do ensino-aprendizagem e visita técnica ao Departamento de Educação dos Estados Unidos em Washington, D.C.

As professoras Margarida Arthuso e Ana Maria Ribeiro por me ensinarem a aprender.

Aos colegas do curso técnico no CEFET-MG (Mônica Bambirra, Hélio Márcio e Marcos Rasuck) pelo companheirismo nas descobertas dos circuitos digitais e dispositivos eletrônicos e aos amigos da graduação em engenharia elétrica na PUC-MG (eng. Aparecida Peçanha, eng. Rubens Markiewisky, eng. Luiz Schettino e eng. Eustáquio Lages) pelas trocas desde o início desta jornada!

A toda minha família pelo carinho e estímulo, em especial à querida tia Ila!

Aos membros da banca de defesa pelo excelente debate e valiosas contribuições.

## RESUMO

FERNANDES, Maria Ângela de Souza. **Competências comportamentais na formação e profissionalização do engenheiro para atuação na indústria 4.0: colaboração engenheiro-máquina com aplicação de inteligência artificial**. 2021. Tese (Doutorado em Propriedade Intelectual e Inovação) - Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Rio de Janeiro, 2021.

Indústria 4.0 engloba avanços nas áreas de automação, sensores, inteligência artificial, tecnologias de informação e comunicação, tendo por base hiperconectividade, elevado grau de digitalização, sensoriamento, tornando o mundo cada vez mais interconectado e interdependente. Emergência de nova relação homem-máquina focada na colaboração entre homem e inteligência artificial (IA) apresenta potencial de remodelar a maneira pela qual engenheiros trabalharão no futuro demandando reestruturação da forma de trabalho e reformulação dos estudos de engenharia. No que concerne à formação de engenheiros no Brasil ressalta-se a homologação das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para os cursos de graduação em engenharia em 2019, com prazo de 3 anos para sua implementação. As Novas DCNs de engenharia enfatizam a formação humanística e empreendedora do engenheiro, com vistas a desenvolver competências para tornar os profissionais aptos para atender às expectativas e comportamentos de clientes, sociedade e mercado. Busca-se, nesta tese, identificar a influência das Novas DCNs de engenharia no desenvolvimento de competências comportamentais para atuação do egresso na Indústria 4.0, bem como propor modelo para capacitação continuada de engenheiros por meio de colaboração entre engenheiro e máquina com aplicação de IA. Pesquisa empírica em escolas de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, suportada pela aplicação do modelo de competência para Indústria 4.0 desenvolvido por pesquisadores alemães e uso de análise de sensibilidade mostrou-se método eficaz para verificação da influência. Foram categorizadas competências comportamentais em consonância com a qualidade de evidência, ratificando influência das novas diretrizes de engenharia na formação dos estudantes e oportunizando recomendações. Vivência no Instituto Fraunhofer de Sistemas de Produção e Tecnologia de Design em Berlim fez-se necessária para viabilizar proposição de modelo para colaboração engenheiro-máquina com aplicação de IA para desenvolvimento de competências profissionais do engenheiro em tempo real. Foi aplicada técnica de *Design Thinking* e utilizado método de modelagem cognitiva do pensamento crítico e raciocínio lógico do engenheiro para treinamento de IA. Narrativa de cenário contemplando o futuro da capacitação profissional do engenheiro demonstra aplicação do modelo proposto, representando o engenheiro desenvolvendo competências enquanto executa tarefas em colaboração com IA.

Palavras-chaves: Competência comportamental. Indústria 4.0. Colaboração engenheiro-máquina. Inteligência Artificial.

## ABSTRACT

FERNANDES, Maria Ângela de Souza. **Competências comportamentais na formação e profissionalização do engenheiro para atuação na indústria 4.0: colaboração engenheiro-máquina com aplicação de inteligência artificial.** 2021. Tese (Doutorado em Propriedade Intelectual e Inovação) - Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Rio de Janeiro, 2021.

Industry 4.0 encompasses advances in the areas of automation, sensors, artificial intelligence information and communication technologies, based on hyperconnectivity, high degree of digitization, sensing, making the world increasingly interconnected and interdependent. Industry 4.0 is expected to create value in engineering manufacturing and service practices in terms of productivity quality and flexibility by merging digital and physical systems, with integration of machines humans and objects. Emergence of a new human-machine relationship focused on collaboration between humans demands reformulation of engineering studies. Regarding the training of engineers in Brazil, we highlight the approval of the Curriculum Guidelines for undergraduate engineering courses in 2019, with a period of 3 years for its implementation. The Engineering Guidelines emphasizes the humanistic and entrepreneurial training of the engineer, with a view to developing skills to make engineering professionals able to meet the expectations and behaviors of the customer society and the market. This thesis seeks to identify the influence of engineering Guidelines in the development of behavioral skills for the performance of graduates in Industry 4.0, as well as to propose a model for continuous training of engineers through collaboration between engineer and machine with AI application. Empirical research in engineering schools of the Federal University of Rio de Janeiro, supported by the application of the competency model for Industry 4.0 developed by German researchers and use of sensitivity analysis proved to be an effective method to verify the influence of Engineering Guidelines. Behavioral competencies were categorized into groups ratifying the influence of the engineering guidelines throughout the training of students and opportunistic recommendations. Experience at the Fraunhofer IPK in Berlin was instrumental to model an engineer-machine collaboration with AI application aiming engineering capacity building in real time. Design Thinking technique was applied and cognitive modeling methods of critical thinking and logical reasoning of the engineer for AI training were used. A scenario narrative on the future of the engineer's professional training demonstrates application of the proposed model, representing the engineer developing skills while performing tasks in collaboration with AI.

Keywords: Behavioral competency. Industry 4.0. Engineer-machine teaming. Artificial Intelligence.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplos de acesso a informações via tecnologias móveis .....	32
Figura 2. Atividades cerebrais humanas interdependentes.....	50
Figura 3. Dimensões de competências comportamentais - Nível 2.....	63
Figura 4. Competências para Indústria 4.0 para os cursos sistema de informação, ciência da computação e engenharia - Nível 3.....	64
Figura 5. Framework para formação de engenheiros em Indústria 4.0 .....	68
Figura 6. Qualidade de evidências de competências comportamentais para Indústria 4.0 na escola de química e escola politécnica (UFRJ) .....	91
Figura 7. Concepção do modelo de colaboração engenheiro-máquina (IA) usando a técnica Design Thinking.....	95
Figura 8. Modelo de pensamento crítico .....	97
Figura 9. Modelo de fluxo de informações na interação homem-máquina.....	101
Figura 10. Modelagem para colaboração engenheiro-máquina.....	102

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Iniciativas da Indústria 4.0 em países avançados .....	17
Quadro 2. Comparação de características de aprendizagem entre humanos e máquinas	54
Quadro 3. Principais habilidades relacionadas ao trabalho, com base no O*NET .....	57
Quadro 4. Estudos analisados para identificação de competências para Indústria 4.0...	59
Quadro 5. Competências para Indústria 4.0 extraídas dos estudos listados no Quadro 4 .....	60
Quadro 6. Estudos selecionados para identificação de competências por país .....	61
Quadro 7. Competências mais mencionadas nos estudos.....	62
Quadro 8. Oito grandes categorias de competências comportamentais - Nível 1 .....	63
Quadro 9. Treinamento de competências .....	69
Quadro 10. Lista Boeing de conhecimentos e capacidades esperadas de um engenheiro .....	70
Quadro 11. Síntese das Novas DCNs de Engenharia - Resolução CNE/CES N° 2/2019 .....	75
Quadro 12. Níveis de qualidade de evidências e definição .....	84
Quadro 13. Qualidade de evidências das oito grandes categorias de competências .....	87
Quadro 14. Estratégias para desenvolvimento de competências comportamentais .....	93
Quadro 15. Modelagem para treinamento de IA pelo engenheiro .....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACATECH	<i>Deutsche Akademie der Technikwissenschaften</i>
ASEE	<i>American Society for Engineering Education</i>
BITKOM	<i>Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien</i>
BMBF	<i>Bundesministerium für Bildung und Forschung</i>
BMWi	<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CES	Câmara de Educação Superior
CNE	Conselho Nacional de Educação
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
DFKI	<i>Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz</i>
I4.0	Indústria 4.0
IAO	<i>Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation</i>
IES	Instituição de Ensino Superior
IPK	<i>Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik</i>
ISI	<i>Fraunhofer-Institut für System-und Innovationsforschung</i>
OECD	<i>Organization for Economic Cooperation and Development</i>
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
VDI	<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>
WEF	<i>World Economic Forum</i>

## SUMÁRIO

Contextualização do estudo .....	11
Questão de pesquisa.....	13
Objetivo Geral.....	13
Objetivos Específicos .....	13
CAPÍTULO 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
1.1. Indústria 4.0 e Fábrica Digital .....	15
1.2. Da Interação Homem-Máquina ( <i>Human-Computer Interaction</i> ) à Colaboração Homem-Máquina ( <i>Human-Machine Teaming</i> ) .....	28
1.2. Inteligência Artificial e Humana.....	36
1.3. Identificação e desenvolvimento de competências para atuação na Indústria 4.0	55
1.5. As Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) do curso de graduação em engenharia no Brasil .....	74
CAPÍTULO 2. METODOLOGIA .....	82
2.1. Pesquisa empírica na graduação em engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) na Escola de Química (EQ) e Escola Politécnica (Poli).....	82
2.2. Metodologia para proposição do modelo de colaboração entre engenheiro e aplicação de inteligência artificial para desenvolvimento de competências profissionais .....	85
CAPÍTULO 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
3.1. As Novas DCNs e competências comportamentais para atuação na Indústria 4.0 nos cursos de engenharia na Escola de Química e Escola Politécnica (UFRJ) .....	86
3.2. Modelo de colaboração engenheiro-máquina com aplicação de Inteligência Artificial para desenvolvimento continuado de competências profissionais.....	94
CAPÍTULO 4. CONCLUSÕES .....	104
REFERÊNCIAS .....	110
ANEXOS.....	124
ANEXO 1: Roteiro estruturado para entrevista e termo de consentimento.....	124
ANEXO 2: Transcrição das entrevistas.....	127

## INTRODUÇÃO

### Contextualização do estudo

Indústria 4.0 foi um projeto apresentado na feira de tecnologia da cidade alemã de Hannover em 2011. Abrange avanços nas áreas de automação, sensores, inteligência artificial (IA), tecnologias de informação e comunicação (TIC) tendo por base hiperconectividade e elevado grau de digitalização (acatech-National Academy of Science and Engineering, 2016; WORLD ECONOMIC FORUM, 2018). Brühl (2015) e mais recentemente Bauer et al. (2019) enfatizam o potencial da transformação digital para modificar a forma como as empresas projetam, fabricam, operam e oferecem seus produtos. Espera-se que Indústria 4.0 melhore as práticas de engenharia, manufatura e serviços em termos de produtividade, qualidade e flexibilidade por meio do uso de *hardware*, *software*, tecnologia da informação e comunicação, fusão de sistemas digitais e físicos integrando máquinas, humanos e produtos (GEBHARDT et al., 2015; KAUFMANN, 2015; ROTH, 2016). Fábrica digital é um conceito ligado à Indústria 4.0 com potencial para escalar produtos e serviços digitais no mercado por meio da aplicação de modelos digitais e simulação 3D em várias etapas de planejamento, aprimorando os processos de engenharia em fábricas reais (KÜHN, 2006; Accenture, 2020).

A partir de 2016, os avanços tecnológicos e os novos métodos de IA levaram à aplicações relevantes para as indústrias, fazendo emergir nova relação homem-máquina (FARROQ e GRUDIN, 2016) focada na colaboração entre homem e IA, remodelando a forma de trabalho de engenheiros. Atentos às oportunidades para aumentar a competitividade, os países desenvolvidos partiram para formulação de políticas objetivando liderança na tecnologia, com plano estratégico de IA elaborado pelos Estados Unidos em 2016; China e Japão em 2017 e Alemanha em 2018. De fato, o mundo está mudando em ritmo acelerado, demandando que tomadores de decisão compreendam e absorvam as aplicações de tecnologias digitais nas atividades econômicas para alavancar a digitalização de processos e a produtividade nos novos modelos de negócios.

As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e os novos métodos de IA têm potencial para transformar cadeias de valor nos negócios com grande velocidade e escala ao impactar a forma de trabalho e demandar o desenvolvimento de novo conjunto de competências profissionais (KAGERMANN et al., 2013; acatech et al., 2016; WORLD ECONOMIC FORUM, 2018). Futuros engenheiros, por exemplo, deverão estar

capacitados para lidar com grande quantidade de dados, delimitar e resolver problemas complexos multidisciplinares e executar atividades em conjunto com máquinas.

Estudo realizado pela Accenture (2016) aponta que desenvolver competências necessárias para usar tecnologias emergentes é um dos principais desafios da transformação digital. Os resultados da pesquisa da consultoria destacam que abordagens tradicionais de treinamento, que funcionaram no passado, são cada vez menos eficazes na era digital. Adicionalmente, já sinalizavam Kagermann et al. (2013) que o desenvolvimento profissional contínuo (*lifelong learning*) é um dos principais desafios no contexto da Indústria 4.0. Mais recentemente, Accenture (2018) ressalta que as empresas devem investir na (re) qualificação dos trabalhadores para adequação à digitalização e aos novos tipos de relação homem-máquina. Enquanto a força de trabalho menos qualificada tem suas atividades totalmente automatizadas e vem sendo substituída por máquinas e algoritmos de inteligência artificial, a necessidade de graduados em engenharia com domínio de competências para atuar neste novo ambiente de trabalho aumentará. A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) estimula pesquisas e debates sobre competências técnicas e comportamentais para atuação profissional na sociedade em transformação pela inteligência artificial e Indústria 4.0 (OCDE, 2018). Estudo abordando competências comportamentais para Indústria 4.0 foi realizado por Hecklau et al. (2017), pesquisadores do Instituto Fraunhofer de Sistemas de Produção e Tecnologia de Design (Fraunhofer IPK) e da Universidade Técnica de Berlim, examinando demanda das empresas por força de trabalho capacitada. Prifti, Knigge, Kienegger e Krcmar (2017) desenvolveram, na Universidade de Munique, um modelo de competências para Indústria 4.0 para capacitação de estudantes dos cursos de sistemas de informação, ciência da computação e engenharia. Em relação à colaboração homem-máquina, destaca-se projeto de pesquisa APPsist do Instituto Fraunhofer para Engenharia Industrial (Fraunhofer IAO) para apoiar trabalhadores da área de produção (ULLRICH et al., 2016).

Neste contexto, a autora realizou uma vivência no Instituto Fraunhofer de Sistemas de Produção e Tecnologia de Design (Fraunhofer IPK-Berlim) financiada pelo Programa Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no período de 2018-2019. Nesta estadia, teve oportunidade de colaborar com o grupo de pesquisa *Workplace of the Future*, possibilitando perscrutar formas de trabalho do engenheiro e desenvolver modelo de colaboração entre engenheiro e aplicação de IA na execução de tarefas de engenharia.

De volta ao Brasil, vislumbrou-se oportunidade de aferir viabilidade desta forma de trabalho do engenheiro. No entanto, observou-se lacuna de estudos, no país, abordando tendências de competências comportamentais no trabalho do engenheiro e preparação de estudantes para lidar com avanços exponenciais de tecnologias digitais e ambiente de trabalho virtual. O momento é muito propício para a realização deste estudo, considerando a crescente demanda por engenheiros preparados para atuar na Indústria 4.0 e a homologação das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) do curso de graduação em engenharia, pelo Ministério da Educação (MEC) em abril de 2019, com prazo para implementação de 3 anos a partir desta data (BRASIL, 2019). As Novas DCNs de engenharia enfatizam a formação humanística e empreendedora do engenheiro capazes de gerar soluções economicamente viáveis para atender expectativas, necessidades e comportamentos do cliente, da sociedade, do mercado.

**A originalidade desta tese está em prospectar avanços comportamentais no perfil de egressos para atuação na Indústria 4.0 ao discutir a influência das Novas DCNs na formação do estudante e em perscrutar o futuro do trabalho e da capacitação continuada de engenheiros ao propor modelo de colaboração entre engenheiro e aplicação de IA, desafios relevantes que afetam escolas de engenharia, egressos, indústrias, governo, economia e sociedade.**

Questão de pesquisa

Como preparar engenheiros, no que diz respeito a capacitação comportamental, para atuar na Indústria 4.0?

Objetivo Geral

Identificar competências comportamentais para atuação de engenheiros na Indústria 4.0.

Objetivos Específicos

1. Identificar como as Novas Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em engenharia possam influenciar a formação do aluno para atuação na Indústria 4.0.
2. Propor modelo para colaboração entre engenheiro e máquina com aplicação de inteligência artificial para desenvolvimento de competências profissionais.

## **Estrutura da tese**

A tese está organizada em quatro capítulos, além deste capítulo introdutório, que apresenta a contextualização do estudo, a questão de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos.

O capítulo 1 abrange revisão bibliográfica sobre Indústria 4.0 e fábrica digital; interação e colaboração homem-máquina; inteligência artificial e humana; identificação e desenvolvimento de competências para atuação na Indústria 4.0 e as Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) do curso de graduação em engenharia

O capítulo 2 trata de aspectos metodológicos para o alcance dos objetivos.

O capítulo 3 apresenta e discute os resultados.

O capítulo 4 finaliza a tese com as conclusões.

Na sequência, são apresentadas as referências e os anexos.

## CAPÍTULO 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Indústria 4.0 e Fábrica Digital

#### Indústria 4.0

Indústria 4.0 foi um dos projetos do plano de ação *High-Tech Strategy 2020* apresentado pelo governo alemão na Feira de Hannover<sup>1</sup> em 2011 (KAGERMANN et al., 2011). Une avanços nas áreas de automação, inteligência artificial, tecnologia da informação e comunicação (TIC) e tecnologia em nuvem (KAGERMANN et al., 2013). É objetivo da Indústria 4.0 proporcionar uma produção mais eficiente, flexível e customizada, a ser alcançada por meio de controles descentralizados de produção controlados digitalmente ou mesmo ou mesmo totalmente automatizados (BRÜHL, 2015; GEBHARDT et al., 2015). Isso impacta a indústria, a economia e a sociedade, ao criar novas formas de cooperação e divisão do trabalho (BRÜHL, 2015).

A Primeira Revolução Industrial ocorreu entre 1712-1912, com o desenvolvimento da máquina a vapor e da produção baseada em máquinas que levaram à produção de bens básicos de alimentação e vestuário (LÜDER, 2014).

A Segunda Revolução Industrial (1913-1968) foi caracterizada pela linha de montagem e produção em massa alimentada por energia elétrica (KAUFMANN, 2015; LÜDER, 2014; ROTH, 2016). O uso do petróleo como combustível levou ao desenvolvimento de produtos para indústrias químicas, elétricas e automotivas.

A Terceira Revolução Industrial introduziu dispositivos eletrônicos, tecnologia da informação e comunicação (TIC) e automação da produção no decorrer de 1969-2012, o que permitiu a automação na indústria. Também chamada de revolução digital ou do computador, foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, da computação em *mainframe* na década de 1960, da computação pessoal (décadas de 1970 e 1980) e da internet na década de 1990.

A Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 deriva-se do termo alemão *Industrie 4.0*, tem por base a hiperconectividade, elevado grau de digitalização e sensoriamento abrangendo tecnologias de comunicação entre o mundo físico e digital, integrando máquinas, humanos e produtos (GEBHARDT et al., 2015; KAUFMANN, 2015; ROTH, 2016). Destaca-se que, ao contrário das outras revoluções industriais que

---

<sup>1</sup> "Feira de Hannover" é a principal feira do mundo para tecnologia industrial. As principais tecnologias e áreas da indústria envolvendo P&D, automação industrial, TI, tecnologias de produção e serviços para energia e mobilidade podem ser encontradas na cidade de Hannover, na Alemanha.

foram observadas e diagnosticadas *a posteriori*, essa é a primeira vez que os acontecimentos estão sendo previstos como tendências (HERMANN et al., 2015).

A publicação *Plattform Industrie 4.0*<sup>2</sup> (2015) definiu Indústria 4.0 como:

*“[...] the fourth industrial revolution, a new level of organization and management of value-chain over the life cycle of products. This cycle is based on increasingly individualized customer wishes and it ranges from the product idea, the ordering, from the developing and the manufacturing, as well as to the delivery of a product to the end customer through to recycling, by including also related services. The basis is the availability of all relevant information in real-time through the networking of all instances that are involved in the value and the ability to derive the optimal value stream from the data at any time. By connecting people, objects and systems, real-time optimized and self-organizing company-wide value networks arise that can be optimized according to different criteria such as cost, availability and resource consumption.”*

*Plattform Industrie 4.0* (2015)

Embora o termo Indústria 4.0 seja muito difundido, conceitos semelhantes são frequentemente usados sob outra terminologia, como apresentado no Quadro 1.

---

<sup>2</sup> *The Plattform Industrie 4.0 steering committee and the Industry-Science Research Alliance/acatech* muito contribuíram para um entendimento comum da "Indústria 4.0" na Alemanha.

Quadro 1. Iniciativas da Indústria 4.0 em países avançados

<b>País/Projeto</b>	<b>Valor</b>	<b>Abrangência</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Indústria</b>
Alemanha Indústria 4.0	Assegurar liderança tecnológica e desenvolver estratégia para alavancar competitividade da indústria nacional	Sensores Robótica Inovação da Produção Gestão operacional TIC	IoT Manufatura avançada	Processo Automotiva Mecânica Eletrônica TIC
União Européia 2020	Unificar política industrial dos estados membros da EU e estabelecer posições de liderança para cada indústria	Smart Grid Veículos verdes Manufatura avançada Material sustentável Produtos biológicos Tecnologias habilitadoras	TIC IoT Tecnologias verdes	PME Energia Educação Manufatura Tecnologia médica
Estados Unidos Reindustrialização	Revitalizar manufatura nacional e gerar melhor sinergia com a indústria de serviços	Energia limpa Saúde e medicamento Bio engenharia Nano tecnologia Mobilidade Aviação	Internet	Manufatura PME TIC Biotecnologia Energia Materiais
Japão Indústria 4.1 J	Melhorar o nível de segurança de dados e dos processos de produção da Indústria 4.0 para Indústria 4.0 J.	Gestão de segurança de ativos Gestão de pedidos de peças de consumo Tecnologia de controle de serviço remoto		Integração de várias Indústrias

Fonte: adaptado de His-Peng Lu; Chien (2018)

Quadro 1. Iniciativas da Indústria 4.0 em países avançados (Continuação)

<b>País/Projeto</b>	<b>Valor</b>	<b>Abrangência</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Indústria</b>
China 2025	Estabelecer liderança do país em manufatura avançada	Indústria de base IoT Produtos inteligentes Modelos de produção IoT de serviço	Networking  manufatura inteligente	TIC Ferramentas de máquina Robótica Equipamento Aviação Equipamento engenharia oceânica Navio hitech Equipamento Estrada ferro Energia Equipamento eletricidade Novos materiais Maquinas para agricultura

Fonte: adaptado de His-Peng Lu; Chien (2018)

Os componentes que tornaram a Indústria 4.0 possível, também denominadas tecnologias habilitadoras, são explicados a seguir:

- Sistema Ciberfísico (CPS) – é um dos componentes fundamentais da Indústria 4.0 (LASI et al., 2014; ROTH, 2016). Um sistema ciberfísico (*Cyber-Physical System-CPS*) abrange um componente físico e um virtual (ZAMFIRESCU et al., 2011) em que o termo 'físico' refere-se ao objeto como ele é percebido pelos sentidos humanos, enquanto o termo 'ciber' refere-se à representação virtual do mundo em que o objeto físico pertence. Em geral, CPS consiste em conectividade avançada (que garante a aquisição de dados em tempo real do mundo físico e *feedback* das informações do espaço cibernético); e gerenciamento inteligente de dados e capacidade computacional (LEE et al., 2014). Objetos interconectados por meio de sensores, atuadores e conexão de rede, são componentes essenciais. Com ajuda de sensores, podem determinar, de forma autônoma, o *status* operacional no ambiente em que está localizado, enquanto atuadores realizam ações para otimização do processo ou resolução de problemas. Sendo capazes de ver as coisas de uma perspectiva física e virtual, CPS pode, sob supervisão humana, avaliar condições operacionais e apoiar tomadas de decisão de forma autônoma. Para facilitar esse processo, grande quantidade de dados deve fluir entre os níveis físico e cibernético para garantir que o sistema continue operando conforme esperado (LEE et al., 2014). De acordo com Sabella (2018), CPS tem como objetivo controlar um processo físico e, através de *feedback*, adaptar-se a novas condições em tempo real. As decisões são tomadas pela inteligência artificial (IA), que avalia informações de seus próprios sensores internos e informações compartilhadas por outros sistemas cibernéticos. Os componentes de CPS<sup>3</sup> são combinados para formar redes inteligentes visando a conexão de sistemas embarcados<sup>4</sup> com as redes mundiais (ROTH, 2016; BROY, 2010). De acordo com Geisberger and Broy (2012), as principais características do CPS são:
  - Coleta de dados através de sensores,
  - Resposta aos processos físicos por meio de atuadores,
  - Avaliação e armazenamento de dados,
  - Uso de dados para tomada de decisões,

---

<sup>3</sup> São dispositivos que podem se comunicar por meio de sistemas embarcados usando a internet.

<sup>4</sup> Os sistemas embarcados são computadores programáveis com capacidade de armazenamento, que criam os requisitos técnicos para a Indústria 4.0.

- Conexão de sistemas local e globalmente,
- Uso de dados e serviços, que estão disponíveis em todo o mundo e
- Ter diferentes interfaces humano-máquina multimodais.

CPS e suas aplicações são baseados em protocolos habilitados para internet das Coisas (IoT), por isso é importante esclarecer a diferença entre o CPS e a IoT.

- Internet das Coisas (*Internet of Things*- IoT) - O termo *Internet of Things* (IoT) foi criado por Kevin Ashton em 1999 (MATTERN e FLÖRKEMEIER, 2010) e é um dos componentes mais importantes para Indústria 4.0 (HERMANN et al., 2015). As “coisas” interligadas por IoT são chamadas de produtos inteligentes; são capazes de se comunicar e trocar informações uns com os outros (ROTH, 2016) e com o ambiente por meio de uma rede inteligente, sem qualquer tipo de interação humana (BRÜHL, 2015), criando a base para sistemas autônomos que desempenham um papel importante na Indústria 4.0. Devido à capacidade de conectar objetos, também é frequentemente chamada de *Internet of Everything* (OBERMAIER, 2016), internet das coisas e serviços. IoT permite a identificação automática e individual de objetos a uma distância de vários metros recebendo um identificador (ID) com as tecnologias "chip RFID" (*Radio Frequency Identification*) (MATTERN e FLÖRKEMEIER, 2010; ROTH, 2016). Outro método para identificar objetos é o endereçamento via *Internet Protocol* (IP). Os objetos geram muitos dados, que podem otimizar processos e permitir o desenvolvimento de modelos de negócios inovadores (ROTH, 2016). A IoT é composta por sistemas descentralizados de cooperação de objetos inteligentes, ou seja, objetos físico-digitais autônomos (com a presença de sensores e atuadores), processamento, armazenamento e rede e podem ser considerados, portanto, como um facilitador para CPS. No entanto, CPS apresenta maior combinação e coordenação entre elementos físicos e computacionais do que IoT (CIMPEANU et al., 2015).
- Comunicação Máquina-Máquina (*M2M*)<sup>5</sup> - por meio de comunicação sem fio, troca informações e transmite dados entre máquinas (ANTON-HARO e DOHLER, 2015; KAUFMANN, 2015). Por meio de M2M, as máquinas tornam-se inteligentes e

---

<sup>5</sup> M2M é baseada em transmissão por rede local (LAN), rede local sem fio (WLAN), rede digital de serviços integrados (ISDN) e redes móveis GSM, ou uma combinação delas (Glanz e Büsgen, 2013).

trocam informações entre si e com o meio ambiente, permitindo a comunicação dos componentes CPS (GLANZ e BÜSGEN, 2013).

- Interação homem-máquina<sup>6</sup> (*Human-Machine Interaction-HMI*) - enquanto M2M possibilita que máquinas possam comunicar e operar de forma autônoma, HMI possibilita a interação entre o homem e a máquina por meio de *smartphones* e *tablets* equipados com tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada como interfaces (LÜDER, 2014; ROTH, 2016). O termo Realidade Virtual (RV) foi cunhado por Jaron Lanier na década de 1980 para descrever experiências de imersão digital, em geral associadas a óculos ou displays montados na cabeça. Enquanto imerso, o usuário não pode ver o mundo real ao seu redor. Em contraste, a Realidade Aumentada (RA) permite que o usuário veja o mundo real, com objetos virtuais sobrepostos ao mundo real. Portanto, a RA complementa a realidade, em vez de substituí-la, pois causa a sensação, ao usuário, que os objetos virtuais e reais coexistem no mesmo espaço (AZUMA, 1997).
- Computação ubíqua – conceito criado por Mark Weiser em 1990 descreve o menor computador inteligente para processar e fornecer dados para outros objetos (ROTH, 2016). Pode ser usado, por exemplo, em produtos, instalações ou máquinas de produção para apoiar as pessoas em suas tarefas.
- Big Data - descreve grandes *pools* de dados que podem ser capturados, comunicados, agregados, armazenados e analisados via objetos conectados entre si. Nambiar e Poess (2015), definem *Big Data* por 5 Vs: volume, velocidade, variedade, valor, veracidade.
  - Volume, grande quantidade de dados, registros e armazenamento.
  - Velocidade, frequência de geração e/ou entrega de dados.
  - Variedade, dados são gerados a partir de diferentes fontes e contém campos de dados estruturados e não estruturados.
  - Valor, extrai benefícios econômicos do *big data*.

---

<sup>6</sup> O capítulo 1.2 trata deste tema em detalhes

- Veracidade. qualidade e nível de confiança em diversas fontes de dados. Se os dados não forem de qualidade suficiente, falsa correlação pode resultar na análise incorreta de oportunidade de negócio.

Cabe também ressaltar aspectos relativos à segurança, pois objetos conectados uns aos outros através da internet tornam-se inteligentes e autônomos por meio de sensores e atuadores. Isso cria potencial para ataques maliciosos implicando em resultados indesejados de grande risco. (KAGERMANN et al., 2013).

- Cyber security: abrange confidencialidade, integridade e disponibilidade. Devido à conexão das máquinas através da internet, elas podem ser objetos de ataques cibernéticos, o que requer a introdução de métodos de autenticação e criptografia (WAIDNER e KASPER, 2016).
- Segurança de dados: como a criação de dados é exponencial com a interconexão, confidencialidade e integridade são essenciais, requerendo métodos de proteção criptográfica (SADEGHI et al., 2015).

#### Aplicação da Indústria 4.0 e Sociedade Fraunhofer

A Sociedade Fraunhofer é a principal organização de pesquisa aplicada na Europa, com atividades conduzidas por 72 institutos de pesquisa localizados na Alemanha. A Sociedade Fraunhofer combina a excelência em pesquisa aplicada com a transferência de conhecimento e tecnologia orientada para resultados na indústria. Para tal, opera com formatos de cooperação interdisciplinar promovendo *networking* institucional entre ciência e indústria. A Sociedade Fraunhofer foi inspiração para criação, pelo governo federal brasileiro, da Empresa Brasileira de Inovação Industrial (Embrapii) em 2013, modelo público-privado de fomento à pesquisa para inovação, tendo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e o Ministério da Educação (MEC) como responsáveis pelo financiamento, juntamente com Unidades Embrapii e empresas.

#### Instituto Fraunhofer para Engenharia Industrial-IAO, Stuttgart, tem foco em:

- Desenvolvimento organizacional e design do trabalho
- Interação homem-máquina e negócios digitais
- Engenharia cognitiva e Inteligência Artificial
- Engenharia de sistemas urbanos, sistemas de mobilidade e inovação

Exemplo de projeto em Indústria 4.0:

O projeto "*SmartAIwork*" desenvolve soluções de *design* para uso da Inteligência Artificial para competência e produtividade dos processos de trabalho.

Instituto Fraunhofer para Pesquisa em Sistemas e Inovação-ISI, Karlsruhe, tem foco em:

- Processos de inovação e impacto das novas tecnologias na sociedade
- Estudos sobre competitividade de empresas, indústrias e manufatura
- Avaliação das estratégias de inovação e concorrência de empresas de médio porte
- Medição da capacidade de inovação industrial e *benchmarking* de inovação
- Desenho estratégico de estrutura organizacional para a inovação

Instituto Fraunhofer de Sistemas de Produção e Tecnologia de *Design* (IPK-Berlin),

Pioneiro em soluções para Indústria 4.0 e pesquisa aplicada para a cadeia industrial abrangendo desenvolvimento de produtos, processos, produção, manutenção, gestão das operações de fábrica e reciclagem. No Brasil, o Fraunhofer IPK firmou, em 2012, parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) para consultoria no planejamento e implantação dos Institutos Senai de Inovação. No final de 2017 o IPK inaugurou o *Fraunhofer Project Center* para manufatura avançada no Brasil - em São José dos Campos, no Estado de São Paulo - numa cooperação estratégica com o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Foco de pesquisa do Fraunhofer IPK na área de Indústria 4.0:

- Laboratório de Indústria 4.0: apoia a indústria ao longo da cadeia de valor, abrangendo desenvolvimento virtual de produtos, planejamento e controle da produção, equipamentos e tecnologias para fabricação e automação de processos.
- Fábrica inteligente: célula *demo* que possibilita modelar, testar e otimizar os diferentes aspectos da Indústria 4,0 numa linha de produção.
- Engenharia digital: desenvolvimento virtual de produtos com o uso de tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada.
- Controle de produção baseada em modelos: soluções modulares para sistemas de manufatura e Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) com o chão de fábrica.
- Robótica centrada na colaboração com as atividades humanas: robôs colaborativos e controlados por gestos.

#### Exemplos de Projetos em Indústria 4.0:

- Indústria 4.0-*Suitcase*: Permite rápida implementação de protótipos para a rede de máquinas e sistemas de produção; planejamento e acompanhamento de pedidos.
- Fábrica Digital: Modelos para criação de produtos, apresentando dados operacionais e de *status* ao longo do ciclo de vida do produto.
- Automação e controle baseados em nuvem: serviços abrangendo estruturas de comunicação em tempo real.
- Manutenção inteligente: Serviços baseados em IoT e *data analytics* na nuvem para manutenção preditiva e monitoramento de condição das máquinas.
- Modelo de sistemas de assistente digital para apoio ao trabalho de produção: uso de tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada em plantas e processos.

#### Fábrica Digital

O conceito de Fábrica Digital surgiu na década de 80 com a tecnologia assistida por computador. O aumento de produtividade com o uso desta tecnologia, aboliu o *design* convencional na prancheta (GREGOR e MEDVECKY, 2010; BRACHT et al., 2011). A engenharia auxiliada por computador define os processos necessários para a produção do produto, enquanto a manufatura auxiliada por computador (*Computer Aided Manufacturing-CAM*) detalha a manufatura. CAM e gestão de dados do produto foram substituídos pelo termo Manufatura Digital, que se aproxima do conceito de Fábrica Digital (GREGOR et al., 2006).

Fábrica Digital e Fábrica Inteligente são conceitos ligados à Indústria 4.0. Fábrica Digital abrange modelos digitais e simulação 3D em várias etapas de planejamento para aprimorar processos de engenharia em fábricas reais Kühn (2006). Produtos e processos das fábricas reais são integrados às Fábricas Digitais por sistemas ciberfísicos e Internet das Coisas (IoT), com dados em tempo real, dando origem ao conceito de Fábricas Inteligentes. (HERMANN et al., 2015; SHARIATZADE et al., 2016).

Pesquisadores europeus consideram a fábrica do futuro como um produto socio-técnico-econômico que balizará a competitividade dos países. Mobilizam, portanto, esforços de pesquisa para o *design* de Fábrica Digital.

Dombrowski et al. (2001) definem Fábrica Digital como um modelo virtual da fábrica real com capacidade de processar as características de engenharia de *design* e processos da fábrica real. Bley e Franke (2001) vêem a Fábrica Digital como a

combinação de tecnologias de simulação (modelagem de produtos e processos) para o planejamento de produção por meio do compartilhamento de dados entre os diferentes níveis da empresa. Para Bracht (2002) a principal aplicação da Fábrica Digital é a representação visual dos produtos e a simulação da produção, em que potenciais falhas são identificadas ainda durante a fase de planejamento. A Fábrica Digital é o elo entre desenvolvimento de produto, planejamento e execução da produção. Para Wiendahl (2002), a Fábrica Digital é uma representação dos processos de produção em um modelo digital com visão de humanos possibilitada pela tecnologia de Realidade Virtual (RV). Para Westkämper et al. (2003), a Fábrica Digital é uma imagem da fábrica real em um modelo digital que torna os processos de fabricação tangíveis por meio de simulação. Wenzel et al. (2003) a definem como uma rede de modelos e ferramentas para suporte contínuo de planejamento e operação da produção, incluindo processos e fluxos de trabalho baseados em modelos digitais. Com essa definição, os autores referem-se, por um lado, às operações de desenvolvimento de produtos e processos e por outro lado o planejamento e suporte à produção (uso de modelos durante o planejamento e posterior operação da planta). Para Marczinski (2006) o termo "Fábrica Digital" refere-se à integração de ferramentas de engenharia para o desenvolvimento de produtos.

A fim de nivelar as mais diversas interpretações e avançar no entendimento do termo, foi criado comitê técnico "Fábrica Digital" na associação dos engenheiros alemães (VDI)<sup>7</sup> na Universidade de Tecnologia Clausthal<sup>8</sup>. Fábrica Digital é definido na diretriz VDI 4499 como uma rede integrada de modelos, métodos e ferramentas digitais, incluindo simulação 3D. E têm por objetivo apoiar o planejamento, avaliação e melhoria contínua de processos e recursos da fábrica real (VDI 4499 Folha 1 2008, p.3). O conceito de Fábrica Digital prioriza os processos de produção, desde o *design* de produtos (incluindo modelagem e simulação) até sua produção (GREGOR et al., 2006):

- sistemas de planejamento de processos (planos de processo e produção, planos de montagem, planos de soldagem, ferramentas, , análise de valor, análise de custos;
- sistemas de detalhamento e validação do processo de produção (simulação de processo de produção, montagem, inspeção, manutenção, operações de produção, etc

---

<sup>7</sup> VDI-Brasil foi criada em São Paulo em 1956. Desenvolve soluções para a cooperação em engenharia, tecnologia e inovação entre os dois países.

<sup>8</sup> A Universidade de Tecnologia Clausthal é um instituto localizado na Baixa Saxônia, Alemanha e é classificada entre as melhores universidades alemãs em engenharia pela *CHE University Rankings*.

que, juntamente com a necessidade de recursos, oferecem uma visão clara sobre as relações entre processos e recursos ainda na fase de projeto conceitual;

- sistemas de engenharia de produção (*layout*, engenharia industrial, projeto e análise de sistemas de produção e montagem, carregamento de máquinas, etc.);
- sistemas de planejamento e controle de produção (sistemas de planejamento de ERP);
- sistemas de automação e controle de processos (robôs industriais, etc.).

Vantagens da Fábrica Digital (GREGOR et al., 2006):

- redução do risco com a introdução de novos produtos e processos;
- verificação de processos antes do início da produção;
- possibilidade de "visita" virtual às salas de produção;
- validação da engenharia conceitual;
- otimização da alocação de equipamentos de produção;
- redução de área física;
- análise de gargalos;
- agilidade de mudança;
- melhor utilização dos recursos existentes;
- economia de tempo e recursos com máquinas e equipamentos;
- redução ou eliminação de protótipos;
- análises ergonômicas, etc.

De acordo com Stef et al (2013) as principais características da Fábrica Digital são: digitalização (para apoiar simulação e/ou métodos de realidade virtual); design e otimização com base em simulação; integração de dados. Integração é uma das principais condições para a implantação da Fábrica Digital, abrangendo três elementos: produto digital; planejamento de produção digital e produção digital.

#### Fábrica Digital em estudos das empresas de consultoria

No estudo “*Digital Factories: The renaissance of the U.S. automotive industry*” divulgado em 2016, a empresa de consultoria Roland Berger aponta que fábricas digitais produzirão produtos de maior qualidade, com menos falhas por peças, lançamento mais rápido no mercado e custos mais baixos. A publicação ressalta que os ganhos de produtividade não só ocorrerão durante a produção, começando pela engenharia e desenvolvimento de produtos (por exemplo, através de prototipagem virtual e testes).

Também em 2016, a Accenture disseminou seu estudo “*Digital Factory: cracking the code to success*” ressaltando 11 fatores facilitadores para implementação da Fábrica Digital. Destaca-se o fator 9 *Talent Development & Learning*, de especial interesse para o contexto desta tese. A pesquisa revela que desenvolver competências para uso de tecnologias digitais é um dos principais desafios, pois pouco mais da metade dos respondentes afirma não possuir profissionais qualificados para atuar na era digital.

Os resultados apontam que abordagens tradicionais para fechar lacunas de competências que funcionaram no passado são cada vez menos eficazes na era digital.

Já em seu estudo de 2020, intitulado “*Digital Factory: innovation on an industrial scale*” a Accenture ressalta que Fábrica Digital é uma abordagem comprovada para “escalar” produtos e serviços digitais no mercado. Há autonomia para criação de valor além das fronteiras da organização de forma a poder colaborar com diversos parceiros.

O estudo da Mckinsey *Welcome to the Digital Factory: the answer to how to scale your digital transformation*”, de 2020, ressalta que empresas com as quais a consultoria tem trabalhado nos últimos três anos foram capazes de:

- lançar produtos no mercado mais rápido (em seis meses ao invés de dois anos);
- fazer mais com os recursos existentes (oito lançamentos de produtos/ano versus um);
- reduzir custos de desenvolvimento de tecnologia (menos gestores por engenheiro);
- atrair talento necessário para competir em um mundo digital (os melhores talentos de engenharia atuando em oito vezes o nível de seus pares).

Pricewaterhouse Coopers GmbH (PwC) publicou seu estudo “*Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*” em 2020. A pesquisa foi realizada com executivos responsáveis pelas áreas: desenvolvimento de produtos, manufatura ou tecnologia em empresas industriais alemãs. Os resultados do estudo apontam que 91% das empresas estão investindo na criação de fábricas digitais na Europa e esperam, num prazo de cinco anos, obter ganhos de eficiência - principal razão apontada por eles - para o investimento. Planejamento integrado, melhor utilização dos ativos, menor custo de qualidade e benefícios da automação contribuem para ganhos de eficiência. Fábricas digitais podem ajudar empresas a atingir metas de sustentabilidade, já que o consumo de energia e matérias-primas pode ser reduzido. Enquanto 28% das empresas relatam que já estão usando estratégias para visualização e automação de processos, com o uso de *tablet*, *iPad*, *smartphone* com apoio de tecnologias de realidade virtual ou realidade aumentada, 62% esperam fazê-lo em apenas cinco anos.

De acordo com a consultoria o mundo entra numa nova era de interação homem-máquina, demandando reestruturação da forma de trabalho. 83% dos respondentes da pesquisa acreditam que precisarão de profissionais em áreas para as quais atualmente não há treinamento padronizado. 98% esperam continuar precisando de graduados em áreas tradicionais como engenharia, negócios e ciências naturais, enquanto cerca de três quintos acreditam que a educação em todos os níveis precisará mudar fundamentalmente para acelerar a digitalização (PwC, 2020).

## 1.2. Da Interação Homem-Máquina (*Human-Computer Interaction*) à Colaboração Homem-Máquina (*Human-Machine Teaming*)

### Interação Humano-Máquina (*Human-Machine Interaction-HMI*)

O termo Interação Humano-Máquina foi criado nos anos 80 para definir nova área de estudos da ciência da computação com foco na interação entre humano e computador. HMI surgiu em decorrência da popularização dos computadores pessoais e de investimentos de institutos de pesquisa e universidades no desenvolvimento de sistemas que pudessem ser utilizados por usuários não especializados em computação.

A interface é a parte do sistema computacional com a qual as pessoas entram em contato para disparar ações e receber os resultados, os quais são interpretados pelo usuário para que em seguida, próximas ações sejam definidas. A este processo de comunicação entre usuário e sistema dá-se o nome interação (PREECE et al. 1994; SHARP et al., 2007). Interface do usuário diz respeito aos meios de operação com que o usuário se envolve com a máquina, como por exemplo *mouse*, telas sensíveis ao toque, voz ou gesto. Uma definição interessante de interface de usuário foi fornecida por Negroponte (1994), que definiu o termo como “o lugar onde *bits* e pessoas se encontram, ou seja, é o canal pelo qual o usuário comunica-se com a máquina; é a percepção do usuário do aplicativo”.

O termo “interface do usuário” surgiu na década de 60, quando Ivan Sutherland publicou sua tese de doutorado no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), que tratava do desenvolvimento do primeiro sistema de Interface de Usuário Gráfico (*Graphical User Interface*) e Manipulação Direta. O “*Sketchpad*” de Sutherland possibilitou a criação de imagens gráficas diretamente numa tela de computador usando uma caneta. Na mesma década, Engelbart e English (1968) desenvolveram o primeiro *mouse*. Na década de 1970, o foco tecnológico das interfaces passa a ser centrado no usuário. Por volta de 1981, as interfaces de manipulação direta, desenvolvidas por

Sutherland e mais tarde pela Xerox Parc e Apple, foram incorporadas em programas de *software* comercial. Daí, o modelo WIMP (Windows, Ícones, Menus, Ponteiros) tornou-se padrão para todas as interfaces. Exemplos típicos de interface de manipulação direta são processadores de textos, planilhas, vídeo games. Na década de 90, agentes inteligentes, como o assistente *office* da Microsoft e os primeiros aplicativos de reconhecimento de fala e linguagem natural surgem na internet. No entanto, em manipulação direta, o usuário é obrigado a realizar as tarefas e controlar os eventos decorrentes da interação, o que, em se tratando de aplicações complexas, pode levar à sobrecarga cognitiva e, portanto, para uma redução da usabilidade do sistema (MORAN, 1981; PREECE et al. 1994).

Usabilidade é um critério de qualidade para avaliação da facilidade de uso da interface pelo usuário. Há diretrizes e princípios de *design* que são usados para apoiar o desenvolvimento destas interfaces.

De acordo com a NBR ISO 9241-2010 de 08/2011 usabilidade destina-se à facilidade de uso e aprendizado de uma ferramenta ou sistema, relacionado com o grau em que pode ser usada por consumidores para alcançar objetivos quantificados com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso. Jakob Nielsen é um dos principais pesquisadores da área de usabilidade. Seu livro, *Usability Engineering* é uma referência na que se refere ao desenvolvimento de interface do usuário.

Para Nielsen (1993), a usabilidade determina a aceitação de um produto, cuja avaliação deve ocorrer durante a execução da atividade pelo usuário. Ele define usabilidade em função dos seguintes atributos:

- **Aprendizagem:** o sistema deve ser de fácil aprendizado para o usuário começar a utilizá-lo rapidamente com determinado grau de competência.
- **Eficiência:** o sistema deve ser eficiente, no sentido de que o usuário aprenda a utilizá-lo rapidamente e com elevada produtividade.
- **Memorização:** ao passar determinado período sem utilizar o sistema o usuário deve ser capaz de utilizá-lo novamente sem ter que aprender tudo novamente.
- **Erros:** a taxa de erros deve ser baixa. Ao cometer erros, o usuário deve ter a possibilidade de recuperar o sistema para o estado imediatamente anterior ao erro.
- **Satisfação:** O sistema deve ser agradável de ser utilizado para que as pessoas se sintam satisfeitas com o seu uso.
- **Flexibilidade:** considera as preferências e modo de trabalho de cada usuário.

- **Utilidade:** refere-se ao conjunto de funcionalidades do sistema para que o usuário realize suas tarefas.
- **Segurança no uso:** refere-se ao grau de proteção do sistema contra condições desfavoráveis ou até mesmo perigosas para os usuários.

A ISO 13407 fornece orientações para atingir a qualidade em atividades de projeto centrado no usuário para sistemas interativos. A norma identifica os princípios para o *design* centrado no usuário: envolvimento ativo e clara compreensão dos requisitos e tarefas do usuário; alocação adequada de funções abrangendo usuários e tecnologia; iteração de soluções de *design* e projeto multidisciplinar.

Interface Inteligente do Usuário (*Intelligent User Interface-IUI*) é um campo interdisciplinar que abrange inteligência artificial e interação humano-máquina. Usando técnicas de inteligência artificial, IUI busca maximizar a eficiência da comunicação como por exemplo, sistemas de linguagem natural, reconhecimento de gestos e reconhecimento de imagem (EHLERT, 2003). Em vez do usuário se adaptar à interface, é ela que se adapta ao usuário e a seu ambiente (SONNTAG, 2015). Além de melhor comunicação, outras propriedades importantes da IUI são personalização (registram dados sobre o comportamento, conhecimento e habilidades do usuário) e flexibilidade de uso. Novos conhecimentos sobre o usuário podem ser inferidos com base no histórico de interação do usuário com o sistema. As IUIs incorporam recursos que tradicionalmente são associados mais fortemente a humanos do que a computadores: como percepção, interpretação, aprendizagem, uso da linguagem, racionalidade, planejamento e tomada de decisão. No entanto, nem todas as interfaces inteligentes têm recursos de aprendizado ou estão aptas a resolver problemas; algumas usam técnicas de interação como reconhecimento de voz, rastreamento de olhares ou reconhecimento facial.

As tecnologias Realidade Aumentada (uso de óculos de RA sobrepondo elementos virtuais no ambiente real) e Realidade Virtual (uso de óculos de RV fazem a imersão do usuário num mundo 3D criado artificialmente) são interfaces inteligentes. Por meio destas interfaces o usuário não só interage com elas, como é envolvido em um ambiente colaborativo, no qual tanto o usuário quanto os agentes se comunicam, controlam eventos e executam tarefas para alcançar objetivos comuns. Realidade mista combina ambas as tecnologias, permitindo que cenários sejam apresentados de forma realista, graças à alta resolução.

A manipulação indireta está intimamente relacionada com agentes de interface (LIEBERMAN, 1995) e não requer comandos explícitos a serem realizados pelo usuário. O agente tem um comportamento proativo para apoiar o usuário a completar suas tarefas, tomando iniciativas próprias quando detectam situações que julgam relevantes para apoiar o usuário (MAES, 1997; JAQUERO et al., 2008).

Vivemos, atualmente, a era da interface de tela sensível ao toque, em que os dados são coletados automaticamente por meio de sensores corporais em *wearables*. Por meio do controle de voz, usuários podem controlar assistentes digitais, como Alexa da Amazon. Os *chatbots* também são usados nesses sistemas e sua capacidade de se comunicar com as pessoas está melhorando cada vez mais graças à inteligência artificial.

Um estudo da acatech de 2016, intitulado “*Innovation Potential of Human-Machine Interaction*” revela um cenário positivo para o futuro da interação homem-máquina, impulsionado pelo avanço tecnológico nos campos de sensores, atuadores, processamento/ transmissão de dados e IA. Máquinas interativas necessitam de dados em tempo real obtidos por meio de câmeras, microfones, sensores de posição, movimento e aceleração bem como informações geradas via radar, laser e ultrassom para extrair informações e adaptar seu comportamento aos usuários e ao ambiente. As múltiplas formas de comunicação humana (linguagem, contato visual, físico, gestos) e as dinâmicas das conversas humanas constituem um desafio particular para os avanços de IA.

Ao interagir com o ambiente e usuários, máquinas inteligentes/IA podem, por exemplo, aprender e evoluir processando imagens, dados de linguagem ou sensores de forma autônoma, vinculando-os ao conhecimento existente. Essa habilidade de evolução tem potencial para tornar-se uma característica regular das máquinas no mundo real e de agentes de software no espaço digital (acatech, 2016; Bahceci, 2016). Interfaces móveis sensíveis ao contexto (Figura 1) apoiam humanos na obtenção de informações para resolução de problemas (GORECKY et al., 2014):

Figura 1. Exemplos de acesso a informações via tecnologias móveis



Fonte: Gorecky et al (2014)

Google e Infineon desenvolveram um dispositivo de controle de gestos denominado “Soli” que pode ser operado no escuro ou remotamente com o auxílio da tecnologia de radar. O controle de gestos além de ser uma alternativa ao controle de voz, apresenta vantagens em relação a telas sensíveis ao toque por permitir que o usuário emita comandos à distância sem precisar tocar no dispositivo. Circuitos integrados de microondas monolítico (*Monolithic Microwave Integrated Circuit*), um chip de radar de 9 x 12,5 mm de 60 GHz da Infineon envia e recebe ondas que refletem o dedo do usuário. Isso significa que se alguém move a mão, este movimento será registrado pelo chip, por meio de *algoritmos* do Google, que processam esses sinais, podendo funcionar no escuro, remotamente ou mesmo com os dedos sujos. De acordo com lideranças do Google, a tecnologia de controle por gestos revoluciona a área de interface homem-máquina, ao proporcionar uma terceira dimensão de interação aos dispositivos móveis, fechando a lacuna referente a alternativa para interação controlada por toque e por voz.

Para Polyscope (2011), dispositivos móveis têm potencial de economia considerando custos operacionais como fiação para caixas de conexão além de proporcionar flexibilidade de deslocamento para monitoramento do desempenho de máquinas e equipamentos. Nos últimos anos, tecnologias de *Bluetooth*, *Wireless Local Area Network (WLAN)* e *Industrial WLAN (IWLAN)* tornaram-se comuns na automação de produção. Além disso, padrões como Identificação por Radiofrequência (RFID) e Comunicação por Proximidade (NFC) permitem interação direta com o produto.

Assim, a difusão de dispositivos pessoais sem fio oferece ao usuário novos serviços e possibilidades (FLOERCHINGER e SCHMITT, 2011):

1. O *Smartphone* pode controlar diversos dispositivos via *Bluetooth*. As informações são apresentadas de forma textual e o teclado é usado para operar o *smartphone* e inserir informações .
2. Princípio *touch & connect* é baseado em sistemas de identificação automatizados, via NFC (*Near Field Communication*), e métodos de identificação óptica (por exemplo, baseados em câmera através da fotografia de um código QR<sup>9</sup>).
3. Um aplicativo utilizando tecnologia de Realidade Aumentada para uso industrial em um *Tablet PC* - Acer Iconia Tab, sistema operacional Android) - visa fornecer informações relativas ao *status* da produção em tempo real ao colaborador da área de manufatura. (GORECKY et al., 2012). Imagens virtuais e textos são inseridos através de vídeos, representando a realidade. O *tablet PC* atua na coleta de informações no ambiente através da câmera e os conecta com os dados armazenados (parâmetros da planta, por exemplo, temperatura, pressão, *status* e utilização da capacidade).
4. Aplicativo de navegação (*SmartMote*) desenvolvido num iPad permite interpretação de dados com reconhecimento de localização da produção. A transição entre diferentes visualizações (ao ar livre, ao lado do prédio da fábrica, no interior, próximo ao dispositivo defeituoso) acontece à medida que o aplicativo consulta continuamente um servidor que fornece a situação atual do trabalhador de manutenção. Este servidor, denominado *Context Broker* (STEPHAN et al., 2011), determina informações de diferentes provedores de sistemas de posicionamento.

A tecnologia de Realidade Aumentada (RA) pode ser entendida como uma extensão da percepção da realidade através da sobreposição de objetos virtuais, apresentando grande potencial para apoiar o colaborador nas áreas de manutenção, logística e treinamento por meio da otimização de transferência de informações. Dessa forma, as informações de tarefas (por exemplo, status da planta industrial, configurações da máquina ou informações do produto) podem ser projetadas de forma interativa para visualização do colaborador. Por meio de um *Head-Mounted Display* - com sensores, câmeras e unidade de processamento integrados na cabeça e na parte superior do corpo

---

<sup>9</sup> É um código de barras que pode ser escaneado usando telefones celulares equipados com câmeras

do usuário - é possível reconhecer movimentos e acompanhar etapas de trabalho em que esteja envolvido (GORECKY e MEIXNER, 2012).

### Colaboração Humano-Máquina (*Human-Machine Teaming*)

A Indústria 4.0 faz emergir o paradigma *Augmented Operator* (WEYER et al., 2015) em que a capacidade humana de perceber e agir no mundo físico é ampliada pela possibilidade de estar imerso num ambiente de Realidade Virtual.

CPSs estão transformando a forma como humanos interagem com sistemas inteligentes, assim como a internet transformou a forma como as pessoas interagem com a informação (SABELLA, 2018). A fábrica do futuro consistirá de um conjunto de CPSs, onde humanos altamente qualificados devem estar familiarizados com o sistema ciberfísico e terão *insights* das operações diretamente de máquinas inteligentes (ERICSON, 2019). Esta integração com sistemas ciberfísicos, em geral, ocorre por meio de uma interface de usuário com a ajuda de tecnologias de RV e RA. Enquanto RV permite que o usuário simule e explore o comportamento de um sistema de produção baseado em CPS, a tecnologia de RA representa o aprimoramento da percepção humana pelo uso de objetos virtuais, em que informações relevantes podem ser adicionadas diretamente ao campo ao seu campo de visão. Isso é possível com plataformas móveis, como smartphones, tablets e *smartglasses*, que são os dispositivos mais utilizados para interação com os sistemas ciberfísicos (GORECKY et al., 2014).

No entanto, a era da **interação** homem-máquina caracterizada por estímulo-resposta está dando lugar à era da **integração** humano-máquina, ou seja, com foco no estabelecimento de um trabalho de colaboração, no qual humanos e Inteligência Artificial atuam em parceria para execução de tarefas (FARROQ e GRUDIN, 2016).

Estudo da consultoria *Boston Consulting Group*, de 2015, ressalta que as empresas devem garantir que humanos assumam responsabilidades estratégicas voltadas para atividades de criação, de inovação e coordenem processos globais.

Abbass (2016) estudou aspectos relacionados a confiança e autonomia numa parceria humano-máquina, conceitos centrais na tomada de decisões. Por exemplo, se o humano confia na máquina, ele tem maior propensão para delegar tarefas, para que a máquina possa apoiá-lo a tomar decisões e completar tarefas complexas. Além disso, se a confiança for positivamente reforçada, o desempenho de execução da tarefa melhora. Abbas enfatiza que de acordo com estudos envolvendo fatores humanos e ciência

cognitiva, efeito similar ocorre nas interações humanas e a relação de colaboração humano-máquina pode ser analisada usando métodos semelhantes. Cada agente, seja humano ou máquina, pode receber informações, processá-las e produzir uma ação. Assim, a relação entre as duas entidades pensantes pode ser analisada e combinada na perspectiva do processamento de informações e da tomada de decisões (ABBASS, 2016).

Sycara e Lewis (2004) desenvolveram um experimento em que identificaram que comunicar uma intenção de forma adequada é o maior obstáculo para eficácia em uma colaboração humano-máquina. Os autores observaram que fatores como previsibilidade mútua entre os membros da equipe, compreensão compartilhada e capacidade dos membros da equipe de se adaptarem uns aos outros são encontrados tanto em equipes humano-máquina quanto humano-humano.

Em um estudo subsequente, Sycara e Suktghankar (2006) identificaram que a eficácia para uma colaboração homem-máquina abrange quatro dimensões: troca de informações, comunicação, apoio comportamental, iniciativa e liderança.

Joe et al. (2014) estudaram aspectos relativos ao trabalho em equipe homem-máquina e chamam atenção para questões relacionadas à saúde mental dos colaboradores tendo em vista o aumento das cargas emocionais devido ao trabalho no ritmo da máquina:

- ritmo de adaptação das máquinas é diferente dos humanos;
- relação inversa quanto a quantidade de interações com níveis de automação entre humanos e máquinas;
- interrupções causadas às equipes humanas com a introdução da automação;
- efeitos de sobrecargas de trabalho para humanos;
- ineficácia de comunicação entre humanos e máquinas.

Abbass et al (2016) apresentam os princípios-chave para avaliar o trabalho em equipe humano-máquina: crença no conceito de equipe; comunicação eficaz; liderança de equipe (normalmente por um humano, mas isso pode mudar no futuro); monitoramento de desempenho individual e de grupo/fornecer *feedback*; coordenação, consciência dos fatores de formação de desempenho interno e externo que afetam os processos das equipes e consciência de que o modelo mental de cada indivíduo é único. Tais princípios apoiam o desenvolvimento de sistemas inteligentes em que a máquina trabalha em colaboração com humanos para melhorar processos e otimizar decisões em conjunto, remetendo à ideia de equipe (JOHNSON et al., 2017; ZHENG et al., 2017).

De acordo com a Accenture (2018), organizações devem investir na (re) qualificação dos trabalhadores para vivenciar novos tipos de relação humano-máquina. O estudo da consultoria ressalta que as empresas devem, além de ensinar a interagir com máquinas inteligentes, incentivar colaboradores a maximizar sua capacidade criativa e habilidade de julgamento. De acordo com Daugherty e Wilson (2018), as competências inerentemente humanas abrangem liderança, improvisação, criatividade, julgamento; enquanto as tipicamente executadas por máquinas são interação, predictabilidade, transação e evolução. A Accenture identificou tipos de colaboração humano-máquina que remodelarão a maneira pela qual as pessoas trabalharão no futuro.

- Humanos treinam Inteligência Artificial para o desempenho de tarefas, modelando o comportamento da máquina por meio de ações humanas.
- Humanos explicam o comportamento de Inteligência Artificial, projetando decisões para a máquina baseadas no contexto do negócio, nos processos e nos fatores individuais, profissionais e culturais.

À medida que a tecnologia digital amplia a capacidade humana de trabalho para atuação com foco mais estratégico, a natureza do trabalho muda.

De acordo com Lauer et al (2020), no estágio atual de pesquisa sobre colaboração homem-máquina, os algoritmos de Inteligência Artificial ainda não são capazes de emular a intuição humana, embora apresentem avanços em inteligência cognitiva. Daí, a automação digital do ensino deverá ser um dos grandes desafios para os próximos vinte anos. Portanto, urge refletir criticamente sobre a capacidade da Inteligência Artificial em replicar as competências cognitivas, emocionais e sociais humanas, principalmente no que se refere a valores, julgamentos e tomada de decisão (SELWYN, 2019).

## 1.2. Inteligência Artificial e Humana

### 1.3.1. Inteligência Artificial (IA)

O campo de IA busca entender Agentes que são componentes capazes de agir de forma autônoma com base em metas, em sua percepção do ambiente por meio de sensores e em suas ações sobre esse ambiente por meio de atuadores. Um agente humano tem olhos, ouvidos e outros órgãos como sensores, mãos, pernas, boca e outras partes do corpo como atuadores enquanto um agente robótico usa câmeras e localizadores de alcance infravermelho como sensores e motores como atuadores (RUSSEL, 1995). Os Agentes

podem ser incorporados em robô ou um *chatbot* (DALE, 2016)<sup>10</sup> em um smartphone. Russel (1995) explica que IA necessita de “inteligência” e um “artefato” para ter sucesso, sendo o computador aclamado como artefato com melhor chance de demonstrar inteligência. De acordo com o autor, pode-se definir IA em termos de processos de pensamento, racionalidade e comportamento. Alguns pesquisadores visam emular a cognição<sup>11</sup> humana, compreendendo habilidades e capacidades de pensamento, abstração, raciocínio, memória, linguagem, capacidade de resolução de problemas e criatividade (HEFT, 2015). Outros pesquisadores buscam a criação de inteligência sem cuidar das características humanas, e outros, ainda, visam criar artefatos úteis sem preocupação com noções abstratas de inteligência (RUSSEL, 1997). O autor ensina que IA pode ser organizada em quatro categorias: sistemas que agem como humanos; sistemas que pensam como humanos; sistemas que pensam racionalmente; sistemas que agem racionalmente.

#### 1. Sistemas que agem como humanos: Teste de Turing

O teste proposto por Turing (1950) foi desenhado para fornecer uma definição operacional de “inteligência”. Turing definiu o comportamento inteligente como a capacidade de alcançar o desempenho humano em tarefas cognitivas. De forma geral, o teste consiste em interrogar um computador por humano e a aprovação no teste ocorre se o interrogador não puder dizer se há computador ou humano na outra extremidade.

#### 2. Sistemas que pensam como humanos: Modelagem Cognitiva

De acordo com Russel (1995), para avaliar se determinado sistema pensa como humano, deve-se entender o funcionamento da mente humana, seja por meio da introspecção (captura dos próprios pensamentos à medida que passam) ou experimentos psicológicos. De posse do entendimento sobre funcionamento da mente humana é possível expressá-lo por meio de programa de computador. Se o tempo de resposta do programa for condizente com o comportamento humano, há evidências de que mecanismos do programa podem operar de forma similar na mente humana.

---

<sup>10</sup> Aplicação de IA que “conversa” com humanos via processamento de linguagem natural

<sup>11</sup> conjunto de habilidades mentais e cerebrais necessárias para obtenção de conhecimento

### 3. Sistemas que pensam racionalmente: Leis do Pensamento

O filósofo grego Aristóteles foi um dos primeiros a codificar processos de raciocínio irrefutáveis. Seus famosos silogismos forneceram padrões para estruturas de argumentos que sempre levaram a conclusões corretas mediante premissas corretas. Por exemplo, "Sócrates é um homem; todos os homens são mortais; Sócrates é mortal." Essas leis do pensamento iniciaram o campo da lógica no final do século XIX e início do século XX. No contexto da inteligência artificial, busca-se construir sistemas inteligentes a partir desta tradição lógica.

### 4. Sistemas que agem racionalmente: Agente Racional

Russel (1995) adota a visão de inteligência como ação racional em seu livro texto "*Artificial Intelligence: A Modern Approach*", considerado uma referência para estudos de introdução à IA. Para o autor, um agente racional<sup>12</sup> é aquele que age de forma correta.

Mais recentemente, Dignum e Dignum (2020) apontam, em publicação premiada sobre AI na *International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems Blue Sky Ideas Track*<sup>13</sup>, que ao longo dos anos, a ênfase de pesquisa tem mudado o foco de agentes inteligentes únicos para sistemas multi-agentes. Tal tendência é exemplificada pela teoria dos jogos como uma maneira de orientar as interações entre agentes. Os autores assinalam que o comportamento racional é viável, principalmente, no que diz respeito a escolhas estratégicas, onde as informações estão disponíveis ou podem ser coletadas. De acordo com eles, o comportamento racional deriva de aspectos mentais, físicos, emocionais, hábitos, convenções sociais, estruturas de poder e ser eficaz, precisa ser combinado com diferentes tipos de comportamentos.

Importante assinalar que o interesse em IA decaiu em meados da década de 1980 e ressurgiu nos anos 90 devido aos seguintes fatores (POLSON et al., 2018):

- Digitalização: grande quantidade de dados e informações disponíveis;
- Computação em nuvem: uso da memória, capacidade de armazenamento, cálculo de computadores e servidores interligados por meio da internet;
- Capacidade de processamento dos computadores (Lei de Moore<sup>14</sup>).

---

<sup>12</sup> "for each possible percept sequence, an ideal rational agent should do whatever action is expected to maximize its performance measure, on the basis of the evidence provided by the percept sequence and whatever built-in knowledge the agent has".

<sup>13</sup> Realizado em Auckland, Nova Zelândia. 9-13 maio 2020

<sup>14</sup> De acordo com a lei de Gordon Moore da Intel (1965) o poder de processamento dos computadores dobraria a cada 18 meses.

Ertel (2017) destaca em seu livro “*Introduction to Artificial Intelligence*” que a questão central para o engenheiro, especialmente o cientista em computação é a máquina inteligente que age como humano, demonstrando comportamento inteligente. Para Ertel (2017), a definição de IA proposta por Rich (1991) “*Artificial Intelligence is the study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better*”, reflete o trabalho realizado por pesquisadores nos últimos 50 anos, e se manterá atualizada até o ano de 2050.

De acordo com Ng (2017), professor da Universidade Stanford, IA ainda é muito limitada em comparação à inteligência humana. Ele afirma: “*Anything that a typical human can do with at most 1 sec of thought, can probably now or soon be automated with AI.*” O professor enfatiza que, com o tempo, IA tenderá a progredir rapidamente até atingir o nível humano de desempenho, e a partir deste patamar, o progresso diminuirá devido à viabilidade do que o humano poderá fazer, ao grande volume de dados e à capacidade (aptidão) inerentemente humana denominada “*insights*”.

As principais tecnologias de IA são *machine learning; deep learning; computer vision; natural language processing* (SAS, 2018)

#### 1. Machine Learning (ML):

Samuel (1959) definiu *Machine Learning* como: “*the field of study that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed.*” Já Mitchell (1998) define ML como sendo o estudo de algoritmos de computador que melhoram, automaticamente, através da experiência. Ertel (2017) explica que um *learning agent* melhora seu desempenho por meio de dados de treinamento ao longo do tempo, após ser treinado com muitos dados, sem ser explicitamente programado. Um *learning agent* pode ser caracterizado pelos seguintes termos:

- Tarefa: a tarefa do algoritmo é aprender a mapear, como por exemplo, tamanho e coloração de maçãs por classe de categorias;
- Dados de treinamento (experiência): são amostras que contêm o conhecimento que o algoritmo deve extrair e aprender. A escolha dos dados de treinamento, deve assegurar que a amostra seja representativa para a tarefa a ser aprendida.

- Dados de teste: são importantes para se avaliar se o agente treinado a partir dos dados de treinamento serão capazes de generalizar o aprendizado para novos dados.
- Desempenho: equivale ao número de maçãs corretamente classificadas, no exemplo de classificação de maçãs, acima citado.

De acordo com Ng (2017) as maneiras mais confiáveis para melhorar o desempenho de um algoritmo é obter e treinar mais dados. O autor destaca os seguintes algoritmos de *machine learning*: *supervised learning*; *unsupervised learning* e *reinforcement learning*. Ressalta que, atualmente, agrega-se maior valor prático por meio do *supervised learning*, uma vez que há uma relação direta entre a entrada e saída (recebe-se um conjunto de dados e já se sabe, de antemão, qual deve ser a saída correta). Ertel (2017) ressalta que *machine learning* e *data mining* seguem o mesmo processo.

- *Supervised Learning: map inputs to output*

Envolve o fornecimento de dados de treinamento previamente estruturados em categorias ou rótulos para um algoritmo. Os rótulos simplesmente vinculam dados a resultado específico, como por exemplo: comprou-não comprou, clicou-não clicou. Tais rótulos, sejam eles relativos a compras ou visualizações de página web, são usados no treinamento de algoritmos para recomendação de conteúdo (LEE, 2018). *Supervised Learning* é a técnica mais comum usada nos sistemas de IA atuais, representando 95% das aplicações práticas (FORD, 2018). Um problema com *machine learning* é que este método requer grandes quantidades de dados rotulados. Isso explica por que empresas que controlam grandes quantidades de dados, como Google, Amazon e Facebook, têm uma posição dominante nesta tecnologia.

- *Unsupervised Learning: magnify hidden patterns and trends*

Envolve ensinar máquinas a aprender com dados não estruturados provenientes do ambiente. Ocorre de forma similar ao aprendizado humano, considerando que o cérebro humano tem capacidade de aprender pela observação e interação não supervisionada com o ambiente.

- *Reinforcement Learning: reward for learning*

Difere do *machine learning* por não precisar de dados rotulados. Em vez de treinar algoritmo fornecendo resultado correto e rotulado, o sistema de aprendizagem é livre

para encontrar soluções por si mesmo. Envolve aprender por meio da prática ou tentativa e erro, assim como ocorre com humanos. A aprendizagem humana é um processo contínuo, orientado pela experiência, onde as decisões são tomadas e a recompensa/punição recebida do meio ambiente é usada para orientar o processo de aprendizagem nas decisões futuras. *Reinforced learning* é apropriado para tarefas simples de avaliar, mas difíceis de especificar. Por exemplo, é fácil avaliar o desempenho de jogadores ao final de um jogo de xadrez, mas difícil especificar a ação em cada situação. *Reinforcement learning* muda o foco de *machine learning* do reconhecimento de padrões para tomada de decisões orientadas pela experiência. Embora restrito à academia ao longo das últimas décadas, tem apresentado grande potencial para aplicações práticas do mundo real (STONE et al., 2016).

## 2. Deep Learning / Artificial Neural Network: subconjunto de *machine learning*

*Deep learning* é um tipo de *machine learning* baseado em camadas de redes neurais artificiais que simulam o mecanismo de aprendizagem em organismos biológicos que contêm unidades de computação que são referidas como neurônios. Assim como estímulos externos são necessários para aprendizagem em organismos biológicos, o estímulo externo em redes neurais artificiais é fornecido pelos dados de treinamento contendo exemplos de pares de entrada-saída da função a ser aprendida (AGGARWAL, 2018). O “perceptron” ocupa um lugar especial no histórico de desenvolvimento das redes neurais, pois foi a primeira rede neural descrita em algoritmo, conforme artigo publicado por Rosenblatt (1958). Nesta época, inspirou engenheiros, físicos e matemáticos a pesquisar sobre o tema. No entanto, na década de 1960 a aplicação de redes neurais foi praticamente descartada sendo retomada na virada do século, devido à maior disponibilidade de dados, aumento do poder computacional, impulsionando o renascimento da área sob a denominação de “deep learning”. Ng (2017) ensina “*the analogy to deep learning is that the rocket engine is the deep learning model and the fuel is the huge amounts of data we can feed to these algorithms*”. *Deep learning* tem contribuído significativamente para o reconhecimento de objetos em imagens, rotulagem de vídeo e reconhecimento de atividades, e também em outras áreas de percepção, como áudio, fala e processamento de linguagem natural (STONE et al., 2016).

### 3. Computer Vision

Psicólogos passaram décadas buscando entender como o sistema visual funciona, embora humanos percebam a estrutura tridimensional do mundo ao seu redor com facilidade. Os avanços nesta subárea de IA têm permitido que computadores sejam capazes de executar algumas tarefas de visão melhor que humanos. Pesquisadores em *computer vision* têm desenvolvido técnicas matemáticas para recuperar a forma tridimensional e a aparência dos objetos em imagens, disponibilizando técnicas para calcular, com precisão, modelo 3D de ambiente com milhares de fotografias parcialmente sobrepostas (SZELISKI, 2011). *Computer vision* é utilizada, atualmente, em grande variedade de aplicações industriais, que incluem reconhecimento óptico de caracteres (OCR); inspeção de máquinas e peças para garantia de qualidade usando visão raio-X; construção de modelos 3D a partir de fotografias aéreas; registro de imagens pré-operatórias e intraoperatórias; segurança automotiva para detectar obstáculos inesperados e pedestres na rua, em condições onde o uso de radar não funcionam bem; reconhecimento de impressões digitais e biometria (STONE et al., 2016).

### 4. Natural Language Processing (NLP)

*Natural Language Processing* envolve o desenvolvimento de aplicativos e serviços capazes de entender a linguagem humana, tornando-se uma importante área para o desenvolvimento industrial (CLARK et al., 2010). No início da década de 1960, os sistemas usavam dois principais paradigmas para perguntas e respostas (Q&A): o primeiro, baseado em recuperação de informações e o segundo baseado em conhecimento (JURAFSKY e MARTIN, 2019).

ELIZA, um programa desenvolvido no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) nos anos 60, tornou possível a conversa entre humano e computador em linguagem natural (texto, diálogo ou ambos). As perguntas e respostas baseavam-se em regras compostas por palavras-chave. Weizenbaum (1966) explica que ELIZA deparava com problemas técnicos como identificação de palavras-chave e geração de respostas na ausência de palavras-chave. Em 2011, o Sistema de Q&A Watson da IBM foi campeão no programa de TV “*Jeopardy!*”<sup>15</sup>. Fazendo uso de uma arquitetura híbrida <sup>16</sup> era capaz de fornecer respostas que superaram às dos humanos participantes (CLARK et al. 2010).

---

<sup>15</sup> Show de perguntas e respostas com conteúdo abrangendo história, literatura, cultura e ciências

<sup>16</sup> Banco de dados de textos e base de conhecimento estruturado

Jurafsky e Martin (2019) apontam duas classes de agentes de algoritmos que interagem por voz/diálogo<sup>17</sup>: agentes orientados a tarefas, que usam conversas com humanos para apoiá-los na execução de tarefas. A segunda classe abrange agentes de diálogo em assistentes digitais, como, por exemplo, Siri da apple, Alexa da amazon, Google Now/Home, Cortana, etc.), que dão instruções, controlam aparelhos ou fazem chamadas telefônicas e videoconferências. Em contraste, os *chatbots* são sistemas projetados para conversas mais longas, não estruturadas ou "chats" característicos da interação humano-humano.

Para Lee (2018) as tecnologias de IA podem ser agrupadas em quatro ondas: IA de internet; IA de negócios; IA de percepção e IA autônoma. Para o autor, as duas primeiras ondas já estão remodelando vários setores da economia com uso de algoritmos enquanto as demais levarão, ainda, um certo tempo.

1. Primeira Onda: IA de Internet - Essa primeira onda tornou-se *mainstream* por volta de 2012. Abrange “alimentação” de algoritmos com dados digitais rotulados para aplicação em sistemas que aprendem preferências pessoais e oferecem conteúdo customizado por meio de mecanismos de recomendações. A IA de primeira onda aproveita o fato de que os usuários da internet estão rotulando automaticamente os dados à medida que navegam. Usando IA de internet, a Amazon, por exemplo, pode recomendar produtos com mais chances de serem adquiridos, enquanto o Google pode direcionar anúncios que tenham mais chances de serem clicados e o YouTube pode sugerir vídeos com maior probabilidade de serem assistidos.
2. Segunda Onda: IA de Negócios - Baseia-se em resultados históricos e *data mining* para realização de correlações usando dados rotulados para treinar algoritmos para tomada de decisão nas organizações.
3. Terceira Onda: IA de Percepção - Algoritmos agrupam os *pixels* de uma foto ou um vídeo em clusters e reconhecem objetos de forma similar ao cérebro humano. O mesmo vale para dados de áudio. Em vez de apenas armazenar arquivos de áudio como coleções de bits digitais, os algoritmos podem escolher palavras e analisar o

---

<sup>17</sup> Agentes que se comunicam com os usuários em linguagem natural (texto, voz ou ambos)

significado de frases completas. Trata-se da digitalização do ambiente através de grande número de sensores e dispositivos inteligentes, transformando o mundo físico em dados digitais que podem ser analisados por algoritmos de *deep learning*.

4. Quarta onda: IA Autônoma - representa a integração das três ondas anteriores, com a fusão da “inteligência” das máquinas a partir de conjuntos de dados extremamente complexos com seus novos poderes sensoriais, culminando na produção de máquinas que entendem e moldam o mundo ao seu redor.

Em seu livro intitulado “*Architects of Intelligence: The truth about AI from the people building it*” Ford (2018) entrevistou 23 pesquisadores renomados na área de IA e robótica. Trata de questões sobre estado da arte de IA, como pode ser utilizada para resolução de problemas, bem como o futuro de IA, robótica e computação. Há também uma discussão sobre a Inteligência Geral Artificial, ou seja, sobre o potencial de desenvolvimento de sistemas capazes de pensar por si mesmos e entender o mundo como os humanos. Acredita-se que “IA de nível humano” será atingido em 2029 (considerando 50% de probabilidade). O estado da arte de IA fica evidente, ao longo da leitura de seu livro, considerando a falta de consenso entre os especialistas sobre qual deveria ser o ritmo de desenvolvimento e o que fazer para avançar na área. Cabe, no entanto, notificar que a rápida adoção e aplicação da IA introduz grandes desafios no que diz respeito às decisões de negócios, onde confiabilidade e responsabilidade são considerações primordiais. Isto ocorre porque, com o uso da técnica *deep learning* não há compreensão direta do mecanismo pelo qual um modelo funciona para se chegar à tomada de decisão. Assim, emerge o paradigma da “inteligência artificial responsável”, um conceito que impõe a adoção sistemática de princípios como *Explainable AI* (XAI). O termo XAI foi cunhado em 2004 por Van Lent et al (MILLER, 2019) e refere-se a métodos e técnicas de aplicação de IA de modo que os resultados da solução possam ser compreendidos por especialistas humanos. Contrasta, assim, com o conceito de “caixa preta” em *machine learning* em que não se pode explicar por que IA chegou a uma determinada decisão específica (EDWARDS e VEALE, 2017). Por outro lado, a implementação de IA apresenta oportunidades, tornado-se foco de competitividade internacional, como segue:

- A tecnologia de IA pode aumentar a produtividade do trabalho em até 40% até 2035 (Accenture, 2018);

- IA pode contribuir para gerar 15,7 trilhões de atividades econômicas adicionais em todo o mundo (PwC, 2017)
- O PIB global pode aumentar até 14% devido ao aumento da produtividade e dos efeitos colaterais do consumo (PwC, 2017).

Atentos ao enorme potencial de sua aplicação e ao valor econômico a ser obtido com sua utilização na indústria e nos negócios, os principais países desenvolvidos do mundo consideram estratégico investir no desenvolvimento da IA com vistas a exercer papel de liderança em ciência e tecnologia. Para tal, têm intensificado a introdução de iniciativas voltadas para o desenvolvimento de políticas e recomendações relativas a IA.

#### Estratégias de IA desenvolvidas por países selecionados durante vivência no Fraunhofer

Evidencia-se, neste trabalho, as estratégias nacionais de países selecionados: Estados Unidos, China, Japão, Alemanha e Brasil.

##### 1. Estados Unidos

Em 2016, durante o governo Obama, os Estados Unidos lançaram seu “*National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan*”<sup>18</sup>, elaborado por um grupo de trabalho composto por diferentes setores do governo, com o objetivo de identificar necessidades tecnológicas e científicas na área de IA e analisar o resultado dos investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) nesse campo. O Plano foi atualizado em 2019, definindo 8 áreas prioritárias para investimentos em P&D:

1. realizar investimento de longo prazo em pesquisa de IA.
2. desenvolver métodos eficazes para colaboração humano-IA.
3. compreender e abordar as implicações éticas, legais e sociais de IA.
4. garantir a segurança dos sistemas de IA.
5. desenvolver bancos de dados compartilhados e ambiente de treinamento e teste de IA.
6. mensurar e avaliar tecnologias de IA por meio de padrões e *benchmarking*.
7. entender melhor as necessidades nacionais de pesquisa e desenvolvimento de IA.
8. ampliar parcerias público-privadas para acelerar os avanços em IA.

---

<sup>18</sup> [https://www.nitrd.gov/PUBS/national\\_ai\\_rd\\_strategic\\_plan.pdf](https://www.nitrd.gov/PUBS/national_ai_rd_strategic_plan.pdf) acessado em 12 de maio de 2020

## 2. China

A China lançou em julho de 2017 seu plano para desenvolvimento da Inteligência Artificial, denominado “*New Generation Artificial Intelligence Development Plan*”, tendo como meta superar os Estados Unidos e tornar-se líder mundial em IA até 2030. A China reconhece a lacuna de desenvolvimento de IA em relação aos países desenvolvidos, considerando que suas instituições de pesquisa científica ainda não apresentam resultados internacionais de impacto e carece de talento para atender às demandas. De forma a avançar no desenvolvimento de IA necessita de melhorias em infraestrutura básica, no estabelecimento de políticas e padrões. Apresenta-se, a seguir, os objetivos estratégicos chineses para 2020, 2025 e 2030:

Objetivos estabelecidos para 2020:

- A aplicação da IA estará em sintonia com os níveis globalmente avançados e a competitividade da indústria de IA entrará no primeiro escalão internacional apoiando a entrada [da China] no rol das nações inovadoras;
- a China terá estabelecido padrões de tecnologia e alcançado importantes progressos numa nova geração de tecnologias de IA.

Objetivos estabelecidos para 2025:

- IA terá se tornado a principal força motriz para modernização industrial e transformação econômica da China;
- nova geração de IA será amplamente utilizada na manufatura inteligente, medicina inteligente, cidade inteligente, agricultura inteligente, defesa nacional;
- a China terá estabelecido regulamentação, normas éticas e capacitação para monitoramento e controle de segurança de IA.

Objetivos estabelecidos para 2030:

- A China terá impacto importante no domínio da pesquisa internacional de IA;
- A competitividade da indústria de IA atingirá o nível mais importante do mundo;
- A China terá se tornado o principal centro de inovação e capacitação em tecnologia de IA em nível mundial.

### 3. Japão

O plano *Artificial Intelligence Technology Strategy*<sup>19</sup>, foi lançado em março de 2017, com foco na promoção e desenvolvimento de prioridades para industrialização, produtividade, saúde e mobilidade. Em junho de 2018, o governo decidiu pela inclusão oficial de IA na estratégia de inovação. O país busca ampliar o número de pesquisadores e elevar o financiamento no campo de IA. Outro elemento da estratégia é unificar formatos e padrões de dados em várias indústrias para melhorar a capacidade de utilizar técnicas de *big data*. O desenvolvimento da IA, *machine learning*, computação cognitiva e redes neurais, progride com a parceria entre indústria, governo e academia. Robótica e *machine learning* são áreas de grande domínio dos japoneses, podendo-se esperar grandes desenvolvimentos futuros pois o Japão é um dos maiores fabricantes de robôs do mundo.

### 4. Alemanha

O governo alemão adotou o plano “*Artificial Intelligence Strategy*”<sup>20</sup> em 15 de novembro de 2018, alocando recursos no valor de 3 bilhões de euros para o período 2019-2025. Para atingir seus objetivos, delineou um plano de ação para concretizá-las:

- Consolidar a competitividade futura tornando o país um centro líder em IA;
- Garantir um desenvolvimento e implantação de IA que sirva ao bem da sociedade;
- Integrar IA na sociedade em termos éticos, legais, culturais e institucionais no contexto de amplo diálogo social e medidas políticas ativas.

A estratégia alemã propõe reformas políticas e iniciativas de educação com foco na formação de professores, a fim de garantir alto nível de capacitação em IA:

- Criação da plataforma ‘*Teach-and-learn AI*’ para desenvolver uma base sólida de habilidades em IA visando grupos de usuários específicos;
- Criação de pelo menos 100 professores adicionais no campo da IA para garantir posição forte no sistema de ensino superior.

Adicionalmente, o governo alemão lançou iniciativas de qualificação e requalificação da força de trabalho ao longo de sua carreira profissional, considerando que as competências mudarão significativamente com as tecnologias de IA:

- criação da Estratégia Nacional para promover formação profissional avançada em digitalização e IA;

---

<sup>19</sup> <https://www.nedo.go.jp/content/100865202.pdf> acessado em 12/05/2020

<sup>20</sup> <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/EN/Standardartikel/artificial-intelligence-strategy.html>

- Criação de centros de excelência em pesquisa sobre o futuro do trabalho realizado em conjunto por homens e IA.

## 5. Brasil

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) lançou consulta pública da Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial em dezembro de 2019. O documento-base propõe seis eixos verticais (educação e capacitação; força de trabalho; pesquisa, desenvolvimento, inovação e empreendedorismo; aplicação pelo governo; aplicação nos setores produtivos; e segurança pública) e três eixos transversais (legislação, regulação e uso ético; aspectos internacionais; governança de IA).

Duas outras iniciativas em inteligência artificial merecem destaque: a criação de oito centros de pesquisa aplicada em IA pela Secretaria de Tecnologias Aplicadas do MCTI. Tem por objetivo incentivar a parceria de Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs), universidades e empresas na criação de soluções para agricultura, indústria, cidades inteligentes e saúde. Outra iniciativa, também do MCTI, diz respeito à abertura de oito laboratórios de inteligência artificial<sup>21</sup>.

Ressalta-se que as iniciativas do governo brasileiro estão alinhadas ao Observatório de Políticas de IA da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD.AI)<sup>22</sup> lançadas em fevereiro de 2020. OECD.AI tem por objetivo apoiar os países no desenvolvimento de sistemas de IA em benefício da sociedade. Quanto aos laboratórios, até o momento da redação deste capítulo, o governo não tinha divulgado detalhes sobre localização, valores de investimentos e parceiros.

Assim, com o estabelecimento de estratégias e governança de IA pelos países, torna-se possível tirar as tecnologias de inteligência artificial do nicho da ciência e trazê-los para a aplicação prática com a implementação de ambientes inteligentes por meio do desenvolvimento de produtos e serviços inteligentes (BAUER et al., 2019).

Produto inteligente refere-se a objetos, dispositivos e máquinas que são equipados com sensores, controlados por software e conectados à internet. Tais produtos são descritos como "inteligentes" porque conhecem seu próprio processo de fabricação e histórico de uso sendo, então, capazes de agir de forma autônoma. Os produtos

---

<sup>21</sup><https://canaltech.com.br/governo/mctic-vai-abrir-oito-laboratorios-de-inteligencia-artificial-no-brasil-154325/> acesso realizado em 13 de maio 2020

<sup>22</sup><https://www.oecd.org/going-digital/ai/about-the-oecd-ai-policy-observatory.pdf> acesso em 13 de maio de 2020

inteligentes trocam volumes cada vez maiores de dados durante o uso (*big data*), que são analisados, interpretados e refinados em dados inteligentes, que podem ser usados para controlar, manter e aprimorar os produtos e serviços inteligentes. Serviços inteligentes, em geral, são centrados no usuário, orientados por dados, com ciclos de produção curto e tendo dados e algoritmos alavancando valor agregado (Acatech, 2016).

Embora algumas empresas já usem inteligência artificial, há aquelas interessadas na tecnologia e outras ainda que a desconhecem. No entanto, o sucesso na implementação de novos modelos de negócios será alcançado onde produtos e serviços inteligentes serão desenvolvidos e orquestrados por profissionais devidamente qualificados.

### 1.3.2. Inteligência Humana

"Inteligência" é um fenômeno complexo que tem atraído a atenção de vários campos de estudo, incluindo psicologia, economia, neurociência, biologia, estatística, linguística e engenharia há mais de um século (STONE et al., 2016). Uma consulta a especialistas sobre a natureza da inteligência realizada em 1921, publicado no *Journal of Educational Psychology*, convergiu para a qualificação de "inteligência" nos temas "aprendizado por meio da experiência" e "adaptação ao meio ambiente". Uma definição "operacional" foi proposta por Boring (1923), psicólogo de Harvard que considera "inteligência" vinculada à medição por meio de testes. Uma definição "real", segundo o filósofo Robinson (1950), vai além da medição e busca compreender a natureza da inteligência. Para Ferguson (1956) inteligência significa a capacidade de uma pessoa de transferir seu aprendizado e experiência acumulada de uma situação para outra (BARNETT e CECI, 2005).

De acordo com Minsky (1985)

*"our minds contain processes that enable us to solve problems we consider difficult. "Intelligence" is our name for whichever of those processes we don't yet understand. Mind still holds its mystery, because we still know so little about how mental agents interact to accomplish all the things they do".*

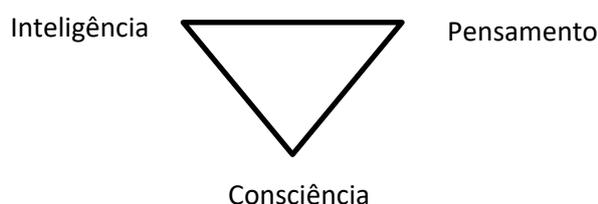
Minsky (1985)

Salovey e Mayer (1990) criaram o conceito de Inteligência emocional em 1990, definindo-a como a capacidade de monitorar sentimentos e emoções próprios e de outros para diferenciá-los e usá-los para guiar pensamentos e ações. De acordo com eles, a execução de qualquer tarefa traz consigo informações afetivas e compreendê-las pode

ajudar as pessoas a resolver problemas e controlar o comportamento. Goleman (1995) trouxe grande contribuição para o campo de pesquisa da inteligência emocional com seu livro *Emotional Intelligence: Why it can matter more than IQ*. O autor destaca que as principais características emocionais – autoconhecimento, gestão das emoções, empatia, sociabilidade – estão interligadas e são complementares. Para ele, o QI (quociente intelectual) representa apenas 20% das aptidões necessárias para que uma pessoa seja bem sucedida. Os outros 80% abrangem diferentes fatores da inteligência emocional que, juntos, formam o QE (quociente emocional).

Morin<sup>23</sup> (2008) define inteligência como a “aptidão para pensar, tratar, resolver problemas em situação de complexidade (multiplicidade de informações, incertezas e riscos). A inteligência, considerada como arte estratégica; o pensamento como arte dialógica e a consciência<sup>24</sup> como arte reflexiva constituem as atividades cerebrais humanas interdependentes, como ilustrado na Figura 2. De acordo com Morin, a consciência precisa ser controlada pela inteligência, a qual necessita de consciência. O pensamento necessita da reflexão (consciência) e a consciência necessita do pensamento. Morin ressalta que inteligência, pensamento e consciência devem ser associados a uma dialógica entre racionalidade e imaginação.

Figura 2. Atividades cerebrais humanas interdependentes



Fonte: Morin (2008)

Compreender as pesquisas e o desenvolvimento de diferentes teorias sobre inteligência é de grande ajuda para melhor compreensão da inteligência humana.

De acordo com Gardner (2011) as teorias de inteligência podem ser agrupadas em quatro tipos: psicométricas, biológicas, cognitivas e cognitivas-contextuais.

<sup>23</sup> Filósofo e sociólogo francês que defende reforma do modelo de ensino nas universidades, salientando a necessidade de passar da atual 'hiperespecialização' para uma aprendizagem que "integre as áreas do conhecimento.

<sup>24</sup> Existem, aparentemente, dois ramos de consciência: por um lado a consciência cognitiva (conhecimento das atividades do cérebro por elas mesmas); por outro lado, a consciência de si (conhecimento reflexivo de si). O desenvolvimento da consciência cognitiva não acarreta o desenvolvimento da consciência de si e vice-versa

1. Nas teorias psicométricas, pesquisadores buscam entender a estrutura da inteligência humana e suas habilidades mentais por meio do desempenho em testes cognitivos. Teve sua origem marcada pela divergência entre as ideias de Spearman (um fator geral de inteligência) e Thurstone (vários fatores) (HECK, 2009).
2. Os estudos experimentais com ênfase na natureza biológica da inteligência somente começaram a surgir no início da década de 90. As teorias biológicas procuram entender a inteligência estudando o cérebro e seu funcionamento, enfatizando a relação entre inteligência, cérebro e suas funções como, por exemplo, velocidade de condução neuronal, metabolismo cortical de glicose, tamanho do cérebro e genética comportamental (APARECIDO, 2014).
3. Teorias cognitivas derivam do estudo dos processos envolvidos no desempenho inteligente. Buscam entender os modelos de processo da inteligência, ou seja, as maneiras pelas quais as pessoas processam e representam mentalmente informações. A pesquisa cognitiva usa programa de computador como metáfora para entender como humanos processam informações durante o desempenho de vários tipos de tarefas.
4. Teorias cognitivo-contextuais enfatizam processos que demonstram inteligência dentro de um contexto específico. As principais teorias incluem a do desenvolvimento de Piaget, a de Gardner sobre múltiplas inteligências e a tripartite de Sternberg.
  - Piaget (1994) propôs a Teoria do Desenvolvimento Cognitivo e buscou entender as etapas do desenvolvimento da inteligência em semelhança a um sistema de operações para traduzir o pensamento em ação.
  - Gardner (2006) propôs a Teoria de Múltiplas Inteligências, na qual oito inteligências distintas - linguístico, lógico-matemático, espacial, musical, cinestésico, interpessoal, intrapessoal e naturalista - funcionam independentemente e interagem para produzir um comportamento inteligente. O autor especulou sobre a possível existência de inteligências existenciais e espirituais.
  - A teoria de Sternberg (2008) consiste em três partes: a primeira considera os processos mentais – planejar o que fazer, aprender como fazer e realizar o que foi planejado e

aprendido – e como estas habilidades podem levar a comportamentos mais ou menos inteligentes. A segunda examina a experiência de uma pessoa no desempenho de uma tarefa ou em lidar com uma situação nova. A terceira parte da teoria enfatiza o papel do ambiente na determinação do comportamento inteligente em determinado cenário.

Duas outras teorias são, também, consideradas relevantes para este estudo: a teoria “*K-line Memory*” de Minsky e a teoria “*Memory Forecast Framework*” de Hawkins. A teoria de Minsky (1980) baseia-se na ideia de um tipo de agente denominado “knowledge-line”, or “k-line”. Para Minsky a memória humana é tratada como se tudo que se aprendeu fosse guardado em diferentes caixas na mente, como objetos guardados em armários, o que levanta as seguintes questões: como o conhecimento é representado? Como está armazenado? Como é recuperado? Como é usado? Na Teoria de Hawkins (2004), a memória é armazenada em representações, com padrões sequenciados numa hierarquia, podendo uma memória parcial apoiar a recuperação da memória em sua totalidade.

Para Morin (2008) a inteligência humana mobiliza aptidões individuais diante das incertezas ou dificuldades de missão a realizar. Combina diversas qualidades inteligentes:

- Capacidade de aprender por si mesmo;
  - Aptidão para hierarquizar o importante e o secundário;
  - Análise da conveniência da utilização dos meios para atingir os fins;
  - Aptidão para combinar a simplificação de problemas (reduzindo-os a um enunciado essencial) e sua complexidade (considerando diversidade, interferências, incertezas);
  - Aptidão para reconsiderar percepção e concepção da situação;
  - Aptidão para utilizar o acaso para fazer descobertas;
  - Aptidão para demonstrar perspicácia em situações inesperadas;
  - Aptidão para reconstituir acontecimento ou fenômeno a partir de fragmentos;
  - Aptidão para conjecturar sobre futuros possíveis e elaborar roteiros considerando incertezas e imprevisibilidade;
  - Aptidão para reconhecer o novo sem o reduzir a esquemas conhecidos e capacidade de situar o novo em relação ao conhecido;
  - Aptidão para enfrentar/superar situações novas e aptidão para inovar;
  - Aptidão para reconhecer o impossível, discernir o possível e elaborar roteiros associando o inevitável e o desejável;
  - Aptidão para transformar elementos dotando-os de propriedades e finalidades novas;
- Além disso, a inteligência comporta a utilização inteligente de informações, memórias, experiências e imaginação.

Para Morin, o ser humano dispõe no cérebro de toda a potencialidade da inteligência, a qual precisa ser alimentada por conhecimentos e auto renovar-se pelo próprio exercício para desenvolver-se. O conhecimento depende da inteligência, que depende dos conhecimentos de que dispõe. A inteligência necessita da troca e do diálogo para produzir conhecimentos e fortalecer-se com eles. Insuficiência de complexidade e de adversidade atrofia a inteligência, mas o excesso a esmaga (MORIN, 2008).

Assim, é tempo de refletir sobre quais competências permanecerão importantes em uma sociedade em transformação pela inteligência artificial e como preparar os sistemas de educação e de capacitação para alimentar a inteligência humana (OECD, 2018). Vários estudos (LAANPERE et al., 2014; MAYER-SCHONBERGER e CUKIER, 2014; LUCKIN et al., 2016; MONTEBELLO, 2017) contribuíram com iniciativas de IA para apoiar o desenvolvimento de novas oportunidades de aprendizagem para os estudantes (UNESCO, 2019).

A Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, 2019), em sua publicação *Artificial Intelligence in Education: challenges and Opportunities for Sustainable Development*, destaca desafios para formulação de política pública sobre IA voltada para o desenvolvimento sustentável:

- Garantir inclusão e equidade em IA na educação;
- Preparar professores para educação com apoio IA e preparar IA para apoiar a educação;
- Desenvolver sistemas de dados de qualidade;
- Potencialiar esforços de pesquisas em IA na educação;
- Ética e transparência na coleta, uso e divulgação de dados

De acordo com OCDE (2017), 13% dos trabalhadores nos países e economias avançados usam competências fundamentais de processamento de informações e de resolução de problemas com maior proficiência que computadores. Tal fato é viabilizado pela computação cognitiva<sup>25</sup>, que visa reproduzir competências humanas através da construção de modelos e algoritmos desenvolvidos para lidar com tarefas humanas e

---

<sup>25</sup> Tem como foco imitar o comportamento e o raciocínio humano para resolver problemas complexos.

transferir processos de tomada de decisão humana para máquinas inteligentes (KELLY e HAMM, 2013). Na literatura, a maioria das abordagens envolve algoritmos de *machine learning* para imitar ou transferir competências humanas para robôs. Por exemplo, o aprendizado de robôs por observação de atividades humanas são discutidos por Koenig e Matarić (2017); Ramirez-Amaro et al (2017) e Yan et al (2015).

Em 2017, robótica pesquisada pela equipe do *Google Brain* aprendeu novas competências por meio de *machine learning*, *reinforcement learning* bem como por meio da interação com objetos e demonstração humana (SERMANET et al., 2017; LEVINE e SERMANE, 2017).

Ansari et al (2018) identificaram habilidades de aprendizagem típicas de humanos e máquinas no contexto da Indústria 4.0, evidenciadas no Quadro 2.

Quadro 2. Comparação de características de aprendizagem entre humanos e máquinas

	Humano	Máquina
Qualidade	Trabalho mecânico	Muito lento pode ser degradada pela vida útil ou manutenção inapropriada
	Tomada de decisão	Baixa a alta, dependendo da qualidade dos dados, precisão dos algoritmos e complexidade da área do problema Qualidade pode ser melhorada com o treinamento do sistema pelo elevado conjunto de dados
Desempenho	Realização de tarefas	Muito baixa, dependendo da vida útil, taxa de degradação e qualidade de serviço

Fonte: Ansari et al (2018)

De acordo com Stone et al (2016) os esforços de pesquisa em IA estão se direcionando para construção de sistemas inteligentes centrados no humano.

Para Dignum e Dignum (2020) a visão da IA centrada no humano requer que os agentes tornem-se mais conscientes do contexto social em que operam.

### 1.3. Identificação e desenvolvimento de competências para atuação na Indústria 4.0

O crescimento exponencial do desenvolvimento tecnológico e da globalização gera desafios sociais, econômicos, ambientais e incerteza quanto ao futuro, ratificando o papel da educação como fator preponderante para moldar uma sociedade centrada no humano. De acordo com o estudo *The Future of Education and Skills* da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2018) estudantes devem ser preparados para atuar como agentes de mudança, para influenciar o futuro e antecipar as consequências de suas ações a curto e longo prazo. Adicionalmente, tecnologias digitais e Inteligência Artificial impactam o bem estar individual e coletivo representando desafios para a educação em engenharia em oferecer as competências essenciais para resolução de problemas globais.

O debate sobre definição de competência teve início com McClelland (1973) que a definiu como "um traço pessoal ou conjunto de hábitos que leva a um desempenho de trabalho mais efetivo". Klemp (1980) definiu competência como "uma característica subjacente à pessoa, que resulta em desempenho superior no trabalho". Para Spencer e Spencer (1993) "competências são habilidades e atributos adquiridos por meio de experiência de trabalho, experiência de vida, estudo ou treinamento". Para Bartram et al (2002) competências são conjuntos de comportamentos para entrega de resultados.

Com frequência, na literatura, a pesquisa sobre competências segue três abordagens: comportamental, funcional ou técnica e multidimensional. A competência comportamental inclui motivação, habilidades (*skills*) e atributos (*abilities*), os quais são relacionadas a comportamentos (BOYATZIS, 1982). Esta abordagem foca em atributos como autoconsciência, auto-regulação e habilidades (*skills*) e atributos (*abilities*), que podem ser adquiridas por meio de aprendizado. A abordagem funcional ou técnica concentra-se em competências para o cumprimento de uma tarefa, ou seja, habilidades e capacidades (*capacities*) necessárias para a realização de uma tarefa com sucesso (FRANK, 1991; MILLER, 1991). Estas competências envolvem, por exemplo, aplicação do conhecimento de comandos e funções de uma linguagem para codificação e conhecimentos de "como" fazer algo, que são aprendidos por meio do estudo e da prática (ARMSTRONG, 2014). A abordagem multidimensional trata de competências individuais para alcançar resultados desejados (STRAKA, 2004). Outra forma de definir competência é por meio de categorização em elementos pessoais, domínios, sociais e metodológicos. As capacidades incluem motivação, atitudes e valores sociais, as quais

são difíceis de treinar por serem de caráter pessoal. As competências de domínio abrangem habilidades e conhecimento equivalentes às competências técnicas. As competências sociais incluem atitudes e habilidades para formar relações sociais e se comunicar com outros, enquanto as metodológicas incluem atributos e habilidades para resolução de problemas e tomada de decisão (WIEN, 2013).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico define competência global como "aquisição de conhecimento e compreensão de questões globais e interculturais; capacidade de aprender e conviver com pessoas de diversas origens, atitudes e valores necessários para interagir respeitosamente com outros" (OECD, 2016). Profissionais orientados para questões globais têm necessidade de coletar informações, comunicar, colaborar com pessoas de diversas culturas e estar preparado para entender e lidar com mudanças organizacionais num contexto global.

O Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016) apresenta um conjunto de habilidades e atitudes relacionadas ao trabalho e utilizadas nos setores industriais derivadas do Modelo de Conteúdo O\*Net<sup>26</sup>, ilustradas no Quadro 3.

World Economic Forum (2018) aponta tendências de habilidades e capacidades para os próximos anos: inovação e pensamento estratégico; aprendizado ativo; criatividade e iniciativa; programação e *design* de tecnologia; pensamento crítico; solução de problemas complexos; liderança; inteligência emocional; raciocínio lógico e ideação; análise e avaliação de sistemas.

À medida que as tecnologias digitais da Indústria 4.0 evoluem, a necessidade de intensificar a (re) qualificação de trabalhadores torna-se crítica. Os trabalhadores, incluindo os engenheiros, terão que se engajar num processo de qualificação continuada (*lifelong Learning*) para adquirir competências que lhes permitam maximizar oportunidades de ocupação profissional. Para as empresas, as estratégias de (re) qualificação são fundamentais para encontrar o engenheiro com as competências de que necessitam para a competitividade de sua empresa.

---

<sup>26</sup> Rede de Informações Ocupacionais (O\*NET), desenvolvida pelo Departamento do Trabalho dos EUA em colaboração com o *Bureau of Labor Statistics's Standard Classification of Occupations*, cuja taxonomia inclui informações detalhadas sobre 974 ocupações individuais nos Estados Unidos, agrupadas em 20 famílias de trabalho, que são regularmente revisadas e atualizadas para ocupações emergentes.

Quadro 3. Principais habilidades relacionadas ao trabalho, com base no O\*NET

Habilidades ( <i>skills</i> )	Atributos ( <i>abilities</i> )	Atributos Multifuncionais	
Cognitiva	Conteúdo	Social	Gestão
Flexibilidade	Aprendizagem ativa	Coordenação	Recursos financeiros
Criatividade	Expressão oral	Inteligência emocional	Recursos materiais
Raciocínio lógico	Compreensão leitura	Negociação	Pessoas
Identificação/solução problemas	Expressão escrita	Persuasão	Tempo
Raciocínio matemático	Domínio informática	Orientado a serviços	
Visualização		Ensino/treinamento	
Físicas	Processo	Sistemas	Tecnológico
Força	Escuta ativa	Julgamento/tomada de decisão	Manutenção e reparo equipamentos
Precisão e habilidade manual	Análise crítica	Análise de sistemas	Operação e controle equipamentos
	Monitoramento próprio e de outros		Programação
		Solução de problemas complexos	Controle de qualidade
			<i>Design</i> de experiência do usuário
			Solução de problemas

Fonte: adaptado de WEF (2016)

Em 2010, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) produziu o estudo *Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development*, em parceria com a Federação Mundial de Organizações de Engenharia, o Conselho Internacional de Academias de Engenharia e Ciências Tecnológicas e a Federação Internacional de Engenheiros Consultivos destacando a importância dos engenheiros para o desenvolvimento socio-econômico da humanidade. “*Engineering drives social, economic and human development and underpins knowledge societies and infrastructures. It is a major factor in innovation and indeed the rise and fall of civilizations*” (UNESCO, 2010). A Sociedade Americana para Educação em Engenharia (ASEE, 2015) ressalta as competências do engenheiro global:

- Demonstrar compreensão dos fundamentos de engenharia, ciência e matemática;
- Demonstrar compreensão de perspectivas políticas, sociais e econômicas;
- Demonstrar compreensão de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC);
- Demonstrar compreensão das fases do ciclo de vida do produto (*design*, prototipagem, testes, produção, canais de distribuição, gerenciamento de fornecedores);
- Demonstrar compreensão de planejamento, gestão e impactos de projetos nos *stakeholders* (membros da equipe, patrocinador, cliente, usuários finais);
- Demonstrar compreensão das normas éticas e empresariais e as aplica efetivamente no contexto da organização, indústria, país);
- Comunicar-se efetivamente de maneiras, métodos e mídias diferentes;

- Comunicar-se efetivamente com o público técnico e não técnico;
- Possuir uma perspectiva internacional/global;
- Possuir fluência em pelo menos dois idiomas;
- Possuir capacidade de pensar criticamente e criativamente;
- Possuir a capacidade de pensar individualmente e em cooperação com outros;
- Trabalhar bem em equipe (contribui para o trabalho, apoia e respeita decisões);
- Possuir auto-imagem e auto-confiança positivas;
- Manter alto nível de competência profissional;
- Adotar compromisso com princípios/padrões de qualidade e melhoria contínua;
- Adotar uma perspectiva interdisciplinar/multidisciplinar;
- Aplicar julgamento pessoal e profissional na tomada de decisões e na gestão de riscos;
- Ajudar outros a alcançar metas e concluir tarefas;
- Demonstrar iniciativa e vontade de aprender.

O foco da Indústria 4.0 é criar produtos, processos inteligentes e representa um desafio para a educação em engenharia, o que torna a aquisição de competências comportamentais cada vez mais importante para estudantes e profissionais da área.

Estudo intitulado “*Meta-Study - Analysis of Future Competences in Industry 4.0*” desenvolvido por Hecklau et al (2017), pesquisadores do Instituto Fraunhofer IPK, em Berlim, examinou o impacto de tecnologias emergentes e digitalização nas competências requeridas pelas empresas. O estudo incluiu publicações de renomados pesquisadores, institutos científicos, universidades e consultorias com foco em Indústria 4.0 e digitalização no período 2014-2017 extraídos de bancos de dados acessíveis pela Universidade Técnica de Berlim, como *Business Source Complete; Web of Science; Core Collection; EconBiz e OLC Wirtschaftswissenschaften*.

O escopo do estudo incluiu entrevistas com representantes de empresas – executivos seniores, diretores com responsabilidade pela estratégia digital e atividade da Indústria 4.0 – entrevistas com especialistas, construção de cenários e estudos de casos. Geograficamente, os estudos abrangem economias desenvolvidas e emergentes, sendo que a grande maioria tem foco na Alemanha. Os estudos analisados para identificação das competências necessárias para Indústria 4.0 estão apresentados no Quadro abaixo.

Quadro 4. Estudos analisados para identificação de competências para Indústria 4.0

ID	Título	Ano	Pais/Publicação
1	Qualifikationsbedarf und Qualifizierung   Anforderungen im Zeichen der Digitalisierung (Hammermann, Stettes 2016)	2016	Alemanha
2	Industrie 4.0- Eine Revolution der Arbeitsgestaltung (Bauer 2014)	2014	Fraunhofer IAO Alemanha
3	The Future of Jobs (Leopol et al. 2016)	2016	World Economic Forum (Ásia, Austrália, Brasil, China, França, Alemanha, GCC, Índia, Itália, Japão, México, África Sul, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos)
4	Kompetenzentwicklungs-studie Industrie 4.0 (acatech et al. 2016)	2016	acatech – Deutsche Akademie der Technikwissen-schaften / Alemanha
5	Skills for Digital Transformation (Hoberg et al. 2015)	2015	Hoberg et al. / worldwide (Argentina, Australia, China, Alemanha, Itália)
6	The Future of work: Jobs and Skills in 2030 (Störmer et al. 2014)	2014	UK Commission for Employment and Skills / Reino Unido
7	Man and Machine in Industry 4.0 (Lorenz et al.)	2015	Boston Consulting Group / Alemanha
8	Industrie 4.0 -Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie (Spöttl et al. 2016)	2016	Alemanha
9	Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? (Malanowski, Brandt 2014)	2014	VDI/ Alemanha
10	Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft (Wolter et al. 2015)	2015	Alemanha
11	The Industrie 4.0 transition quantified  How the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model (Blanchet, Rinn 2016)	2016	Coréia do Sul, China, Brasil, Estados Unidos, Itália, Japão, Reino Unido, França, Alemanha
12	Industry 4.0  The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries (Rüßmann et al. 2015)	2015	Boston Consulting Group / Alemanha

Fonte: adaptado de Hecklau et al (2017)

Hecklau et al (2017) extraíram competências comportamentais e técnicas específicas para o trabalho nos estudos, agrupando-as nas categorias: pessoal, social, metodológica e domínio, conforme Quadro 5.

Quadro 5. Competências para Indústria 4.0 extraídas dos estudos listados no Quadro 4

Competência		Indústria 4.0 / Digitalização
Social	Comunicação e Cooperação	A orientação a serviços requer habilidades de ouvir atentamente, uma vez que contatos e trabalhos virtuais exigem habilidades de comunicação virtual
	Liderança	Crescimento de tarefas estratégicas e pouca hierarquia demanda mais líderes
Metodológica	<i>Analytical</i>	Estruturar e examinar grandes quantidades de dados e processos complexos torna-se mandatório
	Solução problemas Complexos	Colaboradores devem ser capazes de identificar fontes de erros e de melhorar os processos de forma independente, ou em equipe
	Tomada de Decisão	Mais decisões devem ser tomadas de forma independente, bem como em equipes
Pessoal	Criatividade	Necessidade de produtos e processos inovadores requer criatividade
	Vontade de Aprender	Ecosistemas disruptivos demandam mudanças e novos desafios. Novos conhecimentos e habilidades precisarão ser necessários realização de tarefas.
	Flexibilidade e Adaptabilidade	Aumento do trabalho virtual faz com que trabalhadores não dependam de tempo e lugar para execução de tarefas; rotação trabalho exige que trabalhadores sejam flexíveis e assumam mais responsabilidades
	Redes Digitais	O trabalho numa cadeia de valor globalizada e conectada requer a formação de redes de conhecimento
Domínio	Segurança Digital	Trabalho virtual em plataformas demanda conhecimento de segurança cibernética
	Programação	Crescimento de processos digitais cria demanda para programação
	Compreensão de Processos	Maior complexidade demanda conhecimentos aprofundados em procesos
	Interdisciplinar	Aumento da complexidade do trabalho requer múltiplos conjuntos de competências e conhecimentos

Fonte: adaptado de Hecklau et al (2017)

Prifti et al (2017), pesquisadores da Universidade Técnica de Munique realizaram um estudo com o objetivo de desenvolver um modelo de competência, no âmbito de Indústria 4.0, para graduados em curso superior nas áreas de sistemas de informação, ciência da computação e engenharia. Foi adotada a definição de modelo de competências como o conjunto de competências desejadas para aplicação em determinado contexto ou determinada tarefa, incluindo descrição das competências (MARKUS et al., 2005).

Para identificação dos estudos, os autores utilizaram técnicas de revisão de literatura e grupo focal<sup>27</sup>. O Quadro 6 apresenta os estudos selecionados para identificação de competências específicas para Indústria 4.0.

Quadro 6. Estudos selecionados para identificação de competências por país

ID	TÍTULO	ANO	PAÍS
1	Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Report, Industry 4.0 Working Group. Kagermann et al (2013)	2013	Alemanha
2	Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, equeo GmbH: Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0.acatech Report (2016)	2016	Alemanha
3	Industry4.0. Report. European Parliament. Smit et al (2016)	2016	União Européia
4	Der Mensch im Mittelpunkt der Fabrik von morgen. Richter et al (2015) HMD 52, 690-712	2015	Alemanha
5	Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. In: Conf. on Lear. Fact. Gjøvik, pp. 1-6. Erol et al (2016)	2016	Noruega
6	Learning in a Mixed Reality System in the Context of ,Industrie 4.0'. JOTED 3, 92-115 Guo (2015)	2015	Alemanha
7	VDI & ASME: Industry 4.0. Report, VDI & ASME (2015)	2015	Alemanha
8	Educational challenges for employees in project-based Industry 4.0 scenarios. i-KNOW, Kiesel et al (2015), Graz, Austria	2015	Austria
9	Training Programs for Excellent Engineers with Engineering of Internet of Thing. In: Int. Symposium on IT in Medicine and Education, pp 610-615. Xia (2011). Cuangzhou	2011	China
10	Grega, W., Kornecki, A.J.: Real-Time Cyber-Physical Systems-Transatlantic Engineering Curricula Framework. In: Conf. on Comp. Sc. and Inf. Sys., pp. 755-762. Gdansk (2015)	2015	Polónia
11	Towards curricula for Cyber-Physical Systems. In: Workshop on Embedded and Cyber-Physical Systems Education, Grimheden (2014) New Delhi, India	2014	India
12	Blending Problem and Project Based Learning in IoT Education. In: Tech.Sym. on Com. Sc. Ed., pp. 398-403. Maenpaa et al (2015) USA	2015	Estados Unidos
13	Developments 4.0 Prospects on future requirements and impacts on work and vocational education. Gebhardt et al (2015) JOTED 3, 117-133	2015	Alemanha
14	Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“. Windelband (2014). JOTED 2, 138-160 (2014)	2014	Alemanha
15	The Boston Consulting Group: Man and Machine in Industry 4.0. Report, BCG (2015)	2015	Estados Unidos
16	Roland Berger Strategy Consultants: Industry 4.0. Report, Roland Berger (2014)	2014	Alemanha
17	Skills for Digital Transformation. Hoberg et al (2015) TUM	2015	Alemanha

<sup>27</sup> Para Kitzinger (2000), grupo focal é uma forma de entrevistas com grupos, baseadas na comunicação e interação. Seu principal objetivo é reunir informações detalhadas sobre um tópico específico a partir de um grupo de participantes selecionados.

18	Skills Needs Analysis for “Industry 4.0” Based on Roadmaps for Smart Systems. In: SKOLKOVO (ed.): Using Technology Foresights for Identifying Future Skills Needs. pp. 24-37. Hartmann et al (2013) Moscow	2013	Russia
19	Educating the Internet-of-Things generation. Computer 46, 53-61. Kortuem et al (2013)	2013	Reino Unido
20	Mensch-zentrierte IKT-Lösungen in einer Smart Factory. Elektrotechnik und Informationstechnik 2014, 207-211 Stockeret al (2014)	2014	Alemanha

Fonte: adaptado de Prifti et al (2017)

As competências mais mencionadas destes estudos estão relacionados abaixo.

#### Quadro 7. Competências mais mencionadas nos estudos

1. Comunicação
2. Resolução de problemas
3. Aprendizagem continuada ( <i>Lifelong Learning</i> )
4. Colaboração
5. Trabalho em ambientes interdisciplinares
6. Usar tecnologia
7. Tomada de decisão
8. Trabalho em equipe
9. Liderança
10. Autogestão e organização
11. Planejamento e organização do trabalho
12. Criatividade
13. Auto-regulação e responsabilidade individual

Fonte: adaptado de Prifti et al (2017)

O Modelo de Competência para Indústria 4.0 desenvolvido por Prifti et al (2017) foi baseado no *Universal Competency Framework*. Atualizado em 2016, este *framework*, criado em 2001, baseia-se no domínio de competências relativas a comportamento e probabilidade de sucesso no ambiente de trabalho, cujo domínio é aferido por meio de auto-avaliação ou análise de desempenho realizado por gerentes. Adicionalmente, *Universal Competency Framework* fornece um modelo centrado em critérios, delineado

a partir de meta-análise de validade, com robustez suficiente para oferecer uma perspectiva geral sobre competências a serem consideradas para desenvolver modelos em vários contextos (BARTRAM, 2005; KLEINDAUER, 2012), inclusive Indústria 4.0.

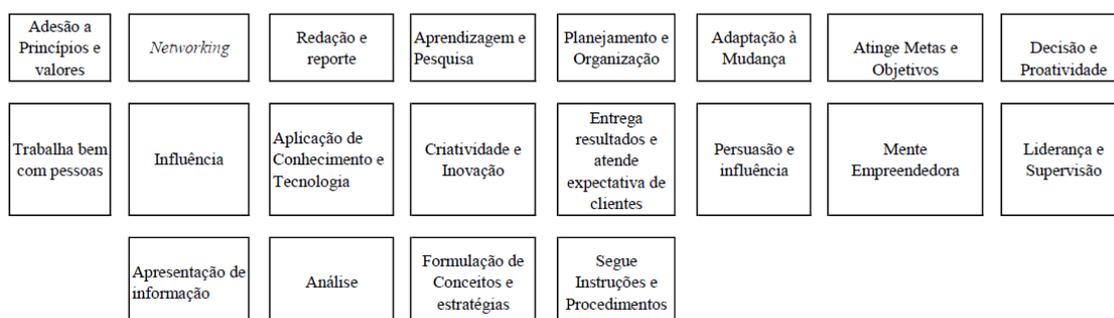
O modelo é estruturado em três níveis hierárquicos, sendo Oito Grandes categorias de competências no nível 1, Dimensões de competências no nível 2 e as competências alocadas no nível 3.

Quadro 8. Oito grandes categorias de competências comportamentais - Nível 1

<i>Oito Grandes Categorias de Competências</i>	<b>Descrição</b>
1. Suporte e Cooperação	Apoia e demonstra respeito no trabalho com equipes
2. Interação e Apresentação	Comunica-se e influencia outros de forma confiante
3. Análise e Interpretação	Possui pensamento analítico para solução de problemas complexos e rapidamente assimila novas tecnologias
4. Criatividade e Conceituação	Busca oportunidades de aprendizado. Pensa de forma ampla e estratégica
5. Organização e Execução	Fornecer serviço ou produto de qualidade para os padrões acordados
6. Adaptação e Resiliência	Adapta-se e responde bem à mudança e à pressão
7. Empreendedorismo e Desempenho	Mostra compreensão de negócios e finanças. Busca oportunidades para auto-desenvolvimento na carreira
8. Liderança e Decisão	Assume o controle e exerce liderança. Inicia ação, dá direção e assume responsabilidade

Fonte: adaptado de *Universal Competence Framework* (Bartram, 2012)

Figura 3. Dimensões de competências comportamentais - Nível 2



Fonte: adaptado de *Universal Competence Framework* (Bartram, 2005)

Prifti et al (2017) adaptaram o *Universal Competency Framework* mantendo os níveis 1 e 2 e alocando as competências para Indústria 4.0 para os cursos de sistema de informação, ciência da computação e engenharia, de seu estudo, no nível 3 (Figura 4).

Figura 4. Competências para Indústria 4.0 para os cursos sistema de informação, ciência da computação e engenharia - Nível 3

<b>Competências</b>		
<b>Sistema de Informação</b>	<b>Ciência da Computação</b>	<b>Engenharia</b>
Ética; Consciência ambiental; Consciência ergonomia		
Trabalho em equipe; Colaboração; Comunicação		
Compromisso; <i>Network</i> ; Relação com o cliente		
Negociação; Inteligência emocional;		
Apresentação e comunicação		
Comunicação técnica; domínio oral e escrita		
Informação e tecnologia; Economia; Extrai Valor de neg. de mídias		
Orientação a serviços / Oferta Produto-Serviço	Segurança de rede	
Gestão Processo negócios	Arquitetura de TI	
Gestão mudança negócio	<i>Machine Learning</i>	
Coordenação <i>Workflow</i>		
Desenv. Sistemas; Integração de tecnologias		
Tecnologia Móvel; Sensores Sist.		
Embarcado		
Tecnologia de rede; Comunicação M2M		
Robótica e Inteligência Artificial		
Manutenção Preditiva		
Modelagem e programação; Big Data Data Analysis		
<i>Cloud computing</i> /arquitetura; Banco de dados		
Estatística; Segurança de dados		
Solução de problemas; Otimização; <i>Analytics</i> ; Cognição		
<i>Life-long learning</i> ; Gestão do conhecimento		
Inovação; Criatividade; Pensamento crítico; Gestão de mudança		
Estratégia de negócios; abstração; gestão de complexidade		
Gestão de projetos; planejamento e organização do trabalho; gestão		
Orientado a clientes; gestão relacionamento com cliente;		
Legislação; segurança; responsabilidade individual		
Trabalha ambiente interdisciplinar; intercultural; flexibilidade; mente aberta		
Equilíbrio vida pessoal-trabalho		
Auto-gestão		
Conhecimento modelo negócio; empreendedorismo		
Tomada de decisão; assume responsabilidade		
Liderança		

Fonte: adaptado de Prifti et al (2017)

Observa-se que a maioria das competências comportamentais são compatíveis com os três cursos – sistemas de informação, ciência da computação e engenharia – indicando que os profissionais deverão demonstrar elevado nível de competências comportamentais para trabalhar com sucesso na Indústria 4.0.

Parte-se, então, para o próximo item, desenvolvimento de competências, onde são apresentados os autores que trabalham com este tema.

### Desenvolvimento de competências

Barab e Roth (2006) argumentam que o aprendizado deve envolver interação ativa com o mundo para inspirar novas trajetórias de vida orientadas para o futuro e vinculadas às paixões dos estudantes. Os educadores precisam, portanto, desenhar currículos que engajarão o aluno e que apoiarão a aprendizagem interdisciplinar. Para os autores, o conhecimento é adquirido por meio de um processo de estabelecer relações e o aprendizado é consequência de conexões estabelecidas no mundo de cada estudante. Argumentam que o currículo tem a dupla função de fornecer uma rica narrativa contextual para situar o conteúdo e, ao mesmo tempo, oferecer oportunidades de trabalhar conceitos específicos de domínios do conhecimento. Propõem, assim, um currículo baseado em ecossistema, em que os professores começam por configurar o problema a ser resolvido para, em seguida, disponibilizar recursos e sugerir atividades através das quais os alunos possam criar as conexões de redes necessárias para resolver o problema proposto. O *framework* do currículo baseado em ecossistema consiste em três componentes: a) o conhecimento envolve a participação em redes (fato, conceito, princípio é um nó que está ligado a vários contextos de uso); b) as escolas devem promover múltiplos contextos de uso aos estudantes e c) a situação “problema” desenhada pelo professor deve impulsionar conexões diferentes daquelas que o estudante já participa em sua vida, proporcionando contextos por meio dos quais os estudantes possam vivenciar novas situações. O argumento pedagógico apresentado por Barab e Roth (2006) é consistente com a aprendizagem baseada em problemas (POLYA, 2004), na qual o foco é introduzir um problema "interessante" e “relevante” que evidencia a situação de aprendizagem e dá sentido ao conteúdo. Para Polya (2004) uma das tarefas mais importantes do professor é ajudar seus alunos a trabalhar de forma independente. Para Polya o processo de resolução de problemas abrange entender o problema, elaborar um plano de ação e posteriormente, executá-lo e revisá-lo quando necessário. De acordo com Polya, se o aluno for deixado sozinho com o problema, sem ajuda ou com ajuda insuficiente, não poderá progredir. O

professor deve colocar-se no lugar do aluno, tentar entender o que está acontecendo em sua mente e provocar sua operação mental por meio de perguntas e recomendações de operações mentais como forma de ajudá-lo. Resolver problemas é uma competência adquirida por imitação e prática e o professor que deseja desenvolvê-la em seus alunos deve inculcar interesse por problemas em suas mentes. Perguntas e recomendações são formas de ajudar o estudante a concentrar sua atenção no desconhecido: O que quer encontrar? O que deveria procurar? O que é necessário?

Para Holvikivi (2007) frequentemente os estudantes de engenharia, apesar da formação em lógica matemática, aplicam raciocínio pragmático quando solicitados a resolver questões envolvendo raciocínio e dedução. De acordo com o autor, uma preferência por raciocínio pragmático suscita preocupação sobre sua capacidade de tomar boas decisões em sua atuação profissional. Embora requisitos lógicos rigorosos não sejam necessários no raciocínio cotidiano, a investigação científica e a tomada de decisões profissionais em engenharia e gestão exigem cumprimento de regras lógicas. Daí a necessidade de maior ênfase no desenvolvimento de competência em resolução de problemas no currículo de educação em engenharia. Os engenheiros precisam ser capazes de selecionar uma maneira adequada de pensar em cada situação e de alternar entre modos de pensamento cotidiano, solução criativa e heurística de problemas. Entendendo heurística como critérios, métodos ou princípios para decidir dentre vários cursos alternativos de ação, que apresente potencial mais eficaz para alcance do objetivo. Assim, esses processos cognitivos empregados em decisões não racionais, são definidos como estratégias que, no entanto, ignoram parte da informação e tornam a escolha mais fácil e rápida (ROMANYCIA e PELLETIER, 1985; POLYA, 2004). Paul et al (2006) argumentam que é essencial que os estudantes de engenharia desenvolvam competências de raciocínio e pensamento crítico para solução de problemas complexos que enfrentarão, mais tarde, no exercício profissional. Os autores ressaltam que o raciocínio do engenheiro deve consistir em : 1. expressar propósito de maneira clara; 2. fazer as perguntas certas para solucionar problemas; 3. estabelecer premissas e suposições; 4. considerar pontos de vista dos stakeholders; 5. basear em dados e informação relevantes validados por fontes confiáveis; 6. usar conceitos alternativos com precisão; 7. verificar implicações de inferências e interpretações.

“Gençay et al (2019) desenvolveram um *framework* para apoiar mudanças e melhorias a serem realizadas no desenvolvimento do currículo em vários cursos de engenharia. O *framework* é composto por três pilares – implementação do conceito de Indústria 4.0, de

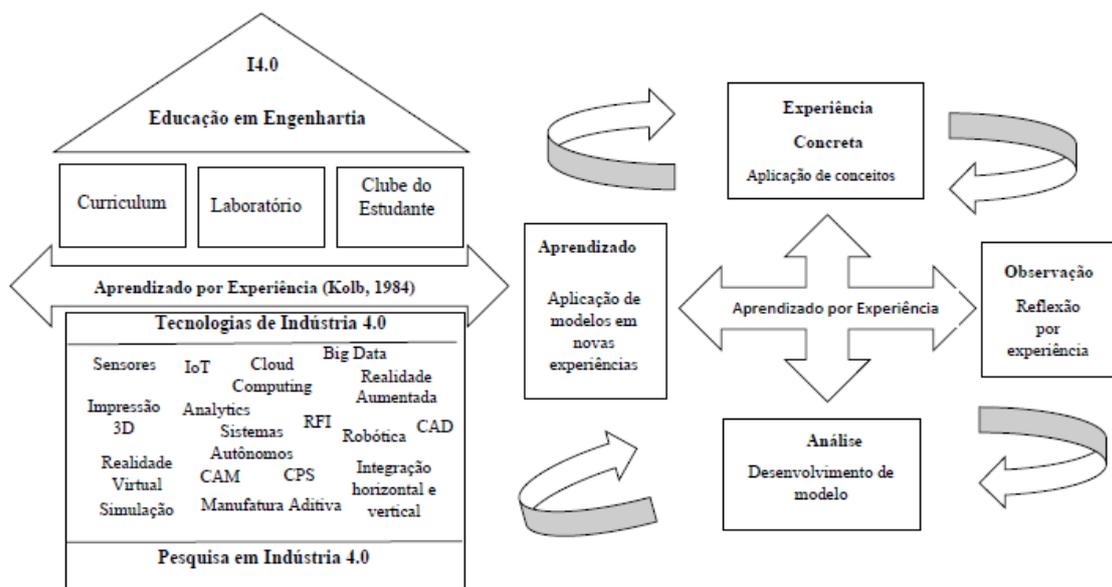
laboratório usando Lego e clube do estudante. No currículo propuseram novos módulos bem como mudanças nos módulos existentes elaborando materiais didáticos referentes à Indústria 4.0, reunindo teoria, prática e vivência de casos reais de negócios, com exercícios práticos no laboratório. No laboratório, os estudantes trabalham em projetos usando Lego Industrial (*Lego Mindstorms*) e aplicam os conceitos de Indústria 4.0 simulando linhas de produção reais. Os sistemas *Lego Mindstorms* fornecem motores e sensores de toque, luz, distância, som e servo motor/rotação fornecem os componentes necessários para o desenvolvimento de modelos e conceitos de fabricação inteligentes que são centrais para a visão da Indústria 4.0. Além disso, a Teoria de Aprendizagem Experimental de Kolb (1984) é usada a fim de melhorar a experiência de aprendizagem dos alunos no Lego-Lab. No clube, os estudantes tomam iniciativa para projetos relativos à Indústria 4.0, organizam eventos para debater e disseminar a visão da Indústria 4.0. Os resultados preliminares da implementação do *framework* na Universidade Turco-Alemã de Istambul mostraram que era viável aplicar tal estrutura e a teoria de Kolb para adaptar a educação de engenharia à visão da Indústria 4.0.

Kolb (1984) explica as três fontes principais de aprendizado: **aprender com o conteúdo** (descoberta de novas ideias, princípios e conceitos), **aprender com a experiência** (aplicar conteúdo num ambiente de aprendizagem) e **aprender com feedback** (resultados de ações e relação entre as ações no desempenho). O autor ressalta que o método de aprendizagem experiencial requer que o estudante esteja envolvido em alguma atividade pessoalmente significativa, de forma a experimentar um senso de realização pessoal com os resultados obtidos. Kolb ensina que a aprendizagem é eficaz quando muda constantemente entre "**pensar**" – um processo de conceituação abstrata, "**sentir**" – em grande parte baseado em experiências, "**assistir**" – um processo de observação e reflexão e "**fazer**" – um estágio ativo de experimentação.

Em síntese, a Teoria da Aprendizagem Experimental de Kolb dá ênfase ao engajamento físico e emocional na atividade de aprendizagem, em que o estudante progride através de um ciclo de quatro estágios: de (a) ter uma experiência concreta (b) observação e reflexão sobre essa experiência que leva a (c) a formação de conceitos abstratos (análise) e generalizações (conclusões) que são então (d) utilizados para testar hipóteses em situações futuras, resultando em novas experiências. (a) **experiência concreta**: experiência prática direta realizando uma nova tarefa. Por exemplo, os alunos seguem instruções passo a passo para aprender conceitos da Indústria 4.0 e suas aplicações, como o planejamento da linha de montagem. (b) **observação reflexiva**: inclui

atividades como discussão que exigem que os alunos reflitam sobre suas experiências práticas em ambientes de conformidade com a Indústria 4.0. O trabalho em grupo é uma estratégia eficaz para promover reflexão. Por exemplo, em vez de pedir aos alunos que analisem sua própria resposta individualmente, pedir-lhes para comparar as respostas com os membros do grupo e listar semelhanças e diferenças pode levar a um nível mais alto de reflexão. (c) **conceitualização abstrata**: espera-se que os alunos criem um modelo teórico do que foi realizado. Discussões de classe ou com os colegas são úteis para conectar a experiência de aprendizagem à teoria geral. Nesta fase, a intervenção do instrutor é importante. (d) **experimentação ativa**: Nesta fase, o aluno planeja e experimenta experiências concretas sem instruções detalhadas, como ilustra a Figura 5.

Figura 5. Framework para formação de engenheiros em Indústria 4.0



Fonte: adaptado de Gençay et al (2019)

Stock e Kohl (2018) sugerem meios para treinar competências para graduados em engenharia, conforme o Quadro 9 a seguir.

Quadro 9. Treinamento de competências

Competências	Treinamento de Competências
<i>Mindset</i> de empreendedor	Projeto com foco de desenvolvimento de inovação e criação de empreendimentos
Conhecimento sobre procedimentos, métodos e ferramentas para solução de problemas; criação de valor; desenvolvimento de produto e modelo de negócios	Ensino na modalidade a distância; aplicação de métodos e ferramentas de engenharia
Competências interculturais Trabalho em equipe e gestão de pessoas Comunicação e persuasão Resolução de conflitos	Formação de equipes interculturais e interdisciplinares Integração de equipe de projetos Apresentação do andamento dos projetos
Mobilidade Liderança e auto-estima Aprender a aprender Engajamento e confiança	Mobilidade para universidades parceiras Proatividade em equipes interculturais Apresentação e discussão em equipe

Fonte: Stock e Kohl (2018)

Para os autores, o ensino-aprendizagem inclui um trabalho orientado por projetos, com estadia presencial em universidades parceiras, cooperação virtual e *e-learning* com palestras relevantes. O conceito de aprendizado experimental de Kolb fornece aos estudantes uma abordagem eficaz (KOLB, 2005) para solução de problemas durante a fase de projetos envolvendo reflexão sobre as atividades realizadas para posterior implementação de melhorias. Para avaliar o desenvolvimento das competências profissionais, metodológicas, sociais e auto-competências por meio do *framework*, foram realizadas três pesquisas anônimas com os alunos durante o início, meio e fim do curso.

O intercâmbio entre indústria e academia é muito importante para os cursos de engenharia, pois são cruciais para capturar e disseminar as melhores práticas no local de trabalho. A chave para isso é por meio de programas de relacionamento onde engenheiros da indústria interagem diretamente com os estudantes. A Empresa Boeing foi pioneira na implementação - no início da década de 1990 - de um ambicioso programa de relações com universidades. Este programa teve como objetivo criar fortes relações da Boeing com universidades importantes para seus interesses comerciais e como meio de liderar esforços para aprimorar a engenharia e programas de educação técnica nos Estados Unidos (MCMASTERS e MATSCH, 1996). Um exemplo bem-sucedido dessa abordagem foi a construção, em meados da década de 90, da lista Boeing de lista Boeing de conhecimentos e capacidades esperadas de um engenheiro (Figura 10), cujo objetivo era estabelecer uma base para um diálogo entre academia e indústria.

Quadro 10. Lista Boeing de conhecimentos e capacidades esperadas de um engenheiro

Boa compreensão dos fundamentos de engenharia: matemática, estatística, física, ciências, informação tecnológica	Boa habilidade de comunicação: escrita, oral, gráfica, saber ouvir atentamente
Boa compreensão de processos de <i>design</i> e manufatura	Elevado padrão ético
Perspectiva sistêmica/multidisciplinar	Pensamento crítico, criatividade (independente e em equipe)
	Flexibilidade. Confiança para rápida adaptação a mudanças
	Curiosidade e vontade de aprender ao longo da vida
	Compreensão profunda da importância do trabalho em equipe
	Diversidade

Fonte: McMasters e Komerath (2005)

Mälkki e Paatero (2015) chamam a atenção, em seu estudo, para a necessidade de intensificar a interação entre as universidades e os envolvidos na vida profissional, a fim de fornecer competências relevantes para o setor. Recomendam a realização de projetos integradores de conclusão de curso em conjunto com a indústria como forma de expor os alunos à aprendizagem baseada em projetos com problemas práticos. Outra forma eficaz de intercâmbio, de acordo com os autores, é a inclusão de palestras de especialistas da indústria no programa do curso de engenharia. Hoernicke et al (2017) discutem exemplos de palestras de especialistas em controle de processos e automação ministradas por colaboradores da ABB<sup>28</sup> e explicitam os pré-requisitos para que o intercâmbio academia-indústria seja bem-sucedida. Sugerem que as instituições acadêmicas criem um *framework* para gerenciar possíveis temas/indústrias a serem convidadas para palestras, acesso de possíveis autoridades, além de fornecer incentivos (certificados, prêmios) como reconhecimento para os palestrantes das indústrias. As indústrias, por sua vez, devem incentivar seus colaboradores a participar das palestras nas instituições de ensino, dar reconhecimento em publicações internas (*intranet, newsletter*) ou até mesmo integrar proferimento de palestras na descrição do trabalho. Associações de engenheiros podem facilitar o intercâmbio entre a indústria e a academia, promovendo *networking* e anunciando as palestras em suas plataformas.

<sup>28</sup> Empresa multinacional que trabalha em tecnologias de energia e automação com sede em Zurique, Suíça.

O grupo de trabalho educação profissional e treinamento da Plataforma “*Industrie 4.0*”, na Alemanha, tem pesquisado competências para Indústria 4.0 e formas de treinamento no contexto de digitalização do ambiente de trabalho desde 2015. O grupo estuda novas formas de aprendizado ao realizar diretamente a tarefa no local de trabalho (BMW, 2017), conforme exemplos envolvendo as empresas Siemens e SAP.

A Siemens criou o projeto “*Industrie 4.0@SPE*”, tendo como foco analisar as mudanças decorrentes da crescente digitalização no mundo do trabalho para adaptar conteúdo, métodos de ensino, conhecimentos e habilidades dos instrutores da educação profissional. Temas-chave abrangem organização e controle inteligente, análise de dados com o objetivo de aumentar a eficiência e eficácia entre o mundo real e o virtual, conexão entre pessoas, máquinas e produtos. “*We started by building up a network that would allow us to gather together information all about Industrie 4.0. This enabled us to gain a picture of the future*” disse Erik Engwer, instrutor profissional de Engenharia Elétrica e Chefe de Engenharia Elétrica no Centro de Treinamento da Siemens em Berlim. Identificados os tópicos, o conteúdo foi trabalhado por meio de desenvolvimento e implementação de projetos, como por exemplo, o projeto máquina de café integrada com sensores e uso de interface humano-máquina para seleção de produto, empreendido por treinandos em Berlim.

*“The apprentices did everything themselves. They started by brainstorming their particular idea. They then ordered some of the various elements they needed and produced others themselves using 3D printing. The apprentices undertook project management, documentation processes and the final presentation in front of training staff all by themselves”*

Erik Engwer, 2015

A SAP usa a plataforma de aprendizagem baseada em nuvem “*Success Map Learning*”, que faz parte de seu portfólio de produtos. Esta plataforma possibilita a preparação de “*Roadmaps de Aprendizagem*”. Os módulos específicos dos cursos são montados com mais de 35.000 oportunidades de aprendizagem que abrangem discussões de desenvolvimento com o gestor. A plataforma de aprendizagem é acessível via dispositivos móveis, os colaboradores podem visualizar seu histórico de aprendizado e se reunirem em grupos de aprendizagem de sua preferência. Da mesma forma, os gestores podem recomendar módulos de aprendizagem específicos para seu time e visualizar o progresso de aprendizagem de sua equipe.

Senderek e Geisler (2015) assinalam a contribuição de assistentes inteligentes no desenvolvimento de competências para Indústria 4.0 em ambientes de trabalho. Evidenciam seu potencial na captura e combinação de dados, avaliação e disponibilização de informações sobre o ambiente, auxiliando humanos na tomada de decisão.

O Instituto Fraunhofer para Engenharia Industrial (Fraunhofer IAO) tem expertise, dentre outras, no desenvolvimento de aplicações de inteligência artificial voltadas para engenharia. Durante o período 2014-2016, o Fraunhofer IAO trabalhou no projeto de pesquisa “**APPsist**” (APPLication + asSISTance) – “Assistência Inteligente e Treinamento em Produção Inteligente”, subsidiado pelo Ministério da Economia e Energia, em seu programa "Sistemas Autônomos para a Indústria 4.0". Os parceiros do projeto – empresas de negócios, institutos de pesquisa, instituições de ensino superior e grupos de interesse – desenvolveram protótipos de sistemas de Inteligência Artificial para apoiar colaboradores na execução de tarefas e aquisição de competências no local de trabalho. Os sistemas funcionam em *tablets*, são equipados com interfaces de Realidade Virtual/Aumentada que disponibilizam conteúdo de aprendizagem de forma a permitir aos colaboradores uma experiência de interação intuitiva e execução de tarefas mais complexas. Na *Hannover Messe* de 2016, os resultados do projeto foram apresentados e os visitantes da feira puderam testá-lo. O APPsist foi implementado na fábrica da Festo, no sudoeste da Alemanha. No *tablet*, informações para tratamento de falhas de máquinas são exibidas e comunicadas passo a passo com texto explicativo e vídeos curtos demonstrando como tarefas de trabalho, até então nunca realizadas pelos colaboradores, podem ser concluídas.

O sistema orienta os funcionários através do processo de manutenção passo a passo, sem necessidade de teste e consulta de *checklists* em papel. Os funcionários direcionam o aprendizado conforme seu ritmo, podendo pular explicações ou mesmo todo o sistema de assistência se já dominar o processo, sendo o histórico de aprendizagem individual documentado no sistema. A pedido, vídeos de instrução fornecem conteúdo aprofundado. De acordo com o Prof. Dr. Christoph Igel, do Centro Alemão de Pesquisa em Inteligência Artificial “*this makes a new dimension of individualisation in workplace training possible for the first time.*” Para ele, o APPsist é um novo empreendimento do ponto de vista científico, pois marca o desenvolvimento de um serviço de treinamento em tempo real utilizando inteligência artificial.

O Simpósio Científico Internacional, realizado em Stuttgart em julho de 2019, ofereceu a oportunidade de compartilhamento de pesquisas sobre novos conceitos de colaboração humana com sistemas de assistência no trabalho:

1. O Fraunhofer IAO apresentou o projeto “*Transformation of Work through Digitalization*”-**Transwork**. Os sistemas de assistência cognitiva oferecem possibilidades de cooperação entre humano e máquina, com o objetivo de desenvolvimento de competências. Um sistema de assistência registra as ações dos usuários e reprocessa informações de volta para eles. Os colaboradores humanos, por sua vez, processam as informações correspondentes às necessidades do contexto de trabalho que precisam e as usam para executar suas tarefas.
2. O *Birkbeck Knowledge Lab- BKL*, da Universidade de Londres, apresentou pesquisa realizada com o intuito de alavancar aprendizagem e criação de conhecimento por meio de tecnologias digitais. A pesquisa da BKL envolveu ferramentas baseadas em inteligência artificial para apoiar alunos e professores na aquisição de competências. Processo iterativo de co-construção do conhecimento foi a abordagem utilizada para projetar suporte inteligente para o estudante, tornando o *design* de suporte inteligente para os usuários muito mais desafiador (MAGOULAS et al., 2019). O sistema *Learning Designer* apoiou no *design* de aprendizagem através da construção, reflexão, colaboração e compartilhamento. O principal componente inteligente do sistema, o *eGeneraliser*, reúne informações sobre as atividades de alunos, as quais são utilizadas para fazer inferências sobre o progresso dos estudantes na assimilação do conhecimento durante o processo de aprendizagem. Essas informações inferidas pelo sistema são usadas para gerar *feedback* personalizado em tempo real para o aluno, sem impacto no potencial exploratório e criativo da interação, o que é grande contribuição da pesquisa, ressaltaram os pesquisadores.
3. O Instituto para Indústria da Informação e a Universidade Nacional de Ciência e Tecnologia de Taiwan desenvolveram um projeto para implementar a colaboração entre inteligência humana e inteligência artificial. Por exemplo, no cenário de controle de manufatura, humanos executam tarefas referentes a treinamento de máquinas para executar tarefas e explicar os resultados dessas tarefas, especialmente quando eles são controversos. Como resultado da colaboração homem-máquina, obtém-se melhoria de flexibilidade, velocidade, escala, tomada de decisão e personalização. Os

pesquisadores ressaltam a importância de desenvolver modelos de colaboração entre IA e humanos para lidar com os desafios do trabalho no futuro. Enfatizam, também, a necessidade de desenvolvimento de estudos em indústrias de vários setores com foco na colaboração e na aplicação do empoderamento IA e humanos.

No que concerne ao desenvolvimento de competências e formação de engenheiros no Brasil ressalta-se a homologação, em 2019, das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais para graduação em engenharia, tema do próximo capítulo.

### 1.5. As Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) do curso de graduação em engenharia no Brasil

Diretrizes (*guidelines*) são normas que orientam o planejamento do curso de graduação em engenharia, incentivam ações inovadoras para formação de engenheiros diante dos avanços exponenciais da tecnologia digital e das profundas mudanças nas formas e ambiente de trabalho.

*“Tendo em vista o lugar central ocupado pela Engenharia na geração de conhecimento, tecnologias e inovações, é estratégico considerar essas novas tendências e dar ênfase à melhoria da qualidade dos cursos oferecidos no país, a fim de aumentar a produtividade e ampliar as possibilidades de crescimento econômico, tanto hoje quanto no futuro. A revisão das Diretrizes Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia é peça-chave deste processo”*

(BRASIL, 2019)

As novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) do curso de graduação em engenharia foram estabelecidas pela Resolução CNE/CES Nº 2/2019 (BRASIL, 2019) substituindo a versão anterior de 2002 (BRASIL, 2002).

A Resolução CNE/CES Nº 2/2019 é estruturada por 18 artigos distribuídos em 6 capítulos, cuja síntese é apresentada no Quadro 11.

Quadro 11. Síntese das Novas DCNs de Engenharia - Resolução CNE/CES N° 2/2019

<b>Tópico</b>	<b>Descrição</b>
Perfil do egresso (Art. 3º).	Perfil condizente com as atuais necessidades de formação em engenharia, compreendendo: visão holística e humanista, formação técnica; aptidão para pesquisa e desenvolvimento de forma inovadora e empreendedora; atenção às necessidades do usuário; visão multidisciplinar/transdisciplinar; preocupação com aspectos globais e comprometimento com responsabilidade social e desenvolvimento sustentável.
Competências do egresso (Art. 4º).	Além de competências técnicas e de gestão, abrangem outras mais gerais associadas à comunicação, trabalho em equipe, ética profissional e aprendizagem autônoma. Os cursos devem ser organizados não mais em função de conteúdos, mas com foco no desenvolvimento de competências explicitadas nas novas DCNs.
Áreas de atuação (Art. 5º)	Dependendo do perfil e das competências dos egressos, previstas no Projeto Pedagógico do Curso, os engenheiros podem atuar nos contextos de projeto e inovação e/ou de empreendimento e gestão, e/ou ainda, na formação acadêmica e atualização profissional.
Estrutura do Projeto Pedagógico do Curso (Art. 6º)	Os itens principais que devem compor o Projeto Pedagógico do Curso são explicitados nas novas DCNs de engenharia e reforçam a importância para estruturação do curso com base em atividades de aprendizagem que articulem teoria, prática, projeto, aprendizagem ativa, contexto de aplicação, pesquisa, extensão, possibilitando o desenvolvimento das competências estabelecidas no perfil do egresso.
Acolhimento e Nivelamento (Art. 7º)	Considerando a heterogeneidade dos ingressantes, devem ser previstos sistemas de apoio, visando melhorar as condições de permanência e a diminuição de retenção e evasão dos ingressantes.
Carga horária e tempo de integralização (Art. 8º)	Indicam os diferentes tipos de atividades acadêmicas curriculares e a possibilidade de articulação com programas de pós-graduação <i>stricto sensu</i> .
Conteúdos do Projeto Pedagógico do Curso (Art. 9º)	São listados apenas os conteúdos básicos obrigatórios, possibilitando a definição dos conteúdos específicos e profissionais de forma mais flexível, mas destacando a necessidade de se prever atividades práticas e de laboratório.
Atividades Complementares (Art. 10)	Devem contribuir efetivamente para o desenvolvimento das competências previstas no Projeto Pedagógico do Curso.
Estágio curricular obrigatório (Art. 11)	Com carga horária mínima de 160 horas, deve envolver situações reais que contemplem o universo da engenharia, nos ambientes profissional e acadêmico.
Projeto Final de Curso - PFC (Art. 12)	Adoção da nova terminologia “Projeto”, em substituição a “Trabalho”, remete à atividade primordial de um engenheiro. O PFC a ser desenvolvido de forma individual ou em equipe deve demonstrar a capacidade de articulação das competências inerentes à formação do engenheiro.
Avaliação das atividades (Art.13)	Avaliação da aprendizagem e das competências dos estudantes deve ser organizada como parte indissociável das atividades acadêmicas, e o processo avaliativo deve ser diversificado e adequado às diferentes atividades do curso

Corpo docente (Art.14)	O corpo docente deverá estar alinhado com o previsto no PPC e, para tanto, indica-se a necessidade de formação pedagógica específica; além disso, as Instituições de Ensino Superior (IES) deverão definir indicadores de avaliação e valorização do trabalho docente nas atividades de graduação.
Implantação e desenvolvimento das DCNs (Art.15)	Além dos processos de avaliação e regulação conduzidos pelo MEC, a implantação e o desenvolvimento das novas DCNs de Engenharia devem ser acompanhados, monitorados e avaliados pelas próprias IES.
Prazo para implementação das DCNs (Art.16)	As novas DCNs devem ser implementadas pelos cursos de Engenharia em um prazo de 3 anos, a partir de 24/4/2019, de forma gradual ou imediatamente, com a devida anuência dos alunos.
Instrumentos de avaliação de curso (Art. 17)	Indica-se a necessidade de adequação dos instrumentos de avaliação de curso em função das alterações das novas DCNs de Engenharia.

Art. 1º trata dos objetivos da Resolução; Art. 2º estabelece aspectos das DCNs de Engenharia; e Art. 18 revoga a Resolução CNE/CES Nº 11/2002.

Fontes: Brasil (2019) e Watanabe et al (2019)

### Premissas, Argumentos e Princípios das Novas DCNs de Engenharia

As Novas DCNs de engenharia abrangem **premissas** consideradas para sua revisão, **argumentos** que fundamentaram sua proposição e **princípios** que norteiam a aplicação e avaliação do curso de graduação em engenharia nas Instituições de Ensino Superior (IES) em âmbito nacional.

Para revisão das Novas DCNs foram consideradas como **premissas**: elevar a qualidade do ensino em engenharia no país; permitir maior flexibilidade na estruturação dos cursos de engenharia, facilitando inovação em modelos de formação pelas instituições de ensino; reduzir a taxa de evasão nos cursos de engenharia, com a melhoria de qualidade; oferecer atividades compatíveis com as demandas futuras por melhor formação de engenheiros.

Os **argumentos** que fundamentaram a proposição para as Novas DCNs de engenharia abrangem: foco na formação através de competências; metodologias inovadoras; indução de políticas institucionais inovadoras; ênfase na gestão de processo de aprendizagem; fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações e valorização da formação do corpo docente.

1. Foco na formação através do desenvolvimento das competências: a formação em engenharia deve ser baseada em competências, envolvendo pessoas com suas diversas expectativas e comportamentos. Deve utilizar técnicas para transformar a observação em formulação e solução economicamente viável de problemas, aplicando tecnologias para atender às demandas dos usuários e do mercado.

2. Metodologias inovadoras: implica adotar metodologias de ensino adequadas à realidade global, aliada ao desenvolvimento de competências comportamentais e à motivação dos estudantes para buscar outras fontes de conteúdo. Os professores passam a ter o papel de mediador para apoiar os estudantes na compreensão dos conteúdos. Para isso, deve-se investir em metodologias de ensino baseadas em projetos que contribuam para o desenvolvimento de aprendizagem colaborativa. O aspecto central é dar maior dinamismo e autonomia ao processo de aprendizagem em engenharia, engajando o estudante na solução de problemas concretos de forma a elevar a melhoria do ensino e combater a evasão.
3. Indução de políticas institucionais inovadoras: o foco aqui é promover a diversidade, com perfis diferentes de engenheiros capazes de atender às mais diversas demandas da sociedade, como habitação, segurança, educação, saúde. As novas DCNs devem garantir flexibilidade para que cada IES estruture seus cursos de forma a promover o desenvolvimento de competências coerente ao perfil do egresso estabelecido para cada curso.
4. Ênfase na gestão do processo de aprendizagem: as DCNs devem estimular o desenvolvimento da cultura da gestão de processos de aprendizagem nas IES de forma a desenvolver competências para construir um perfil acadêmico e profissional compatível com referências internacionais, capacitando o engenheiro para atuar com eficácia em todos os segmentos da engenharia em qualquer parte do mundo.
5. Fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações: os cursos devem promover a interação com organizações para o desenvolvimento de atividades e projetos de interesse comum. Como por exemplo, a ação de docentes nas empresas e de profissionais das empresas nos cursos; assim como incentivar maior direcionamento do projeto final de curso para resolução de problemas concretos para as empresas. A realização de eventos conjuntos de trocas de experiências também deve ser viabilizada, além de visitas técnicas, entre outras atividades que possibilitem estreitar relações entre os cursos e as organizações. Neste contexto, os projetos dos cursos devem prever a interação entre docentes e profissionais de empresas envolvidos em atividades de desenvolvimento de competências.

6. Valorização da formação do corpo docente: necessário priorizar a capacitação docente sobre novos métodos e estratégias ensino/aprendizagem; capacitação didática-pedagógica e para gestão acadêmica dos docentes; equilíbrio entre incentivos funcionais, acadêmicos, recursos para pesquisa, extensão e atividades de ensino; envolver profissionais de empresas em atividades acadêmicas.

As Novas DCNs de engenharia<sup>29</sup> definem os **princípios** para aplicação e avaliação do curso de graduação nas IES, em âmbito nacional:

1. Formular e conceber soluções desejáveis de engenharia, analisando e compreendendo a necessidade dos usuários e seu contexto;
2. Analisar e compreender os fenômenos físicos e químicos por meio de modelos simbólicos, físicos e outros, uma vez verificados e validados por experimentação;
3. Projetar e analisar produtos (bens e serviços), componentes ou processos;
4. Implantar, supervisionar e controlar as soluções de engenharia;
5. Comunicar-se eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica;
6. Trabalhar e liderar equipes multidisciplinares;
7. Ter ética no âmbito do exercício da profissão;
8. Aprender a lidar com contextos complexos, atualizando-se em relação aos avanços da ciência, da tecnologia, bem como em relação aos desafios da inovação.

Novas possibilidades de atuação do engenheiro são aspectos inovadores das DCNs: projetista de soluções inovadoras; como empreendedor, em todo o ciclo de vida do produto e do empreendimento e o exercício de atividade de docência, treinamento e formação de profissionais da área tecnológica. Portanto, os estudantes devem ser adequadamente formados para se adaptarem aos mais variados contextos.

Assim, o curso de graduação em engenharia deve, ao longo da formação, propiciar as competências gerais<sup>30</sup>:

1. formular e conceber soluções desejáveis de engenharia, analisando e compreendendo os usuários dessas soluções e seu contexto:

---

<sup>29</sup> Homologadas pelo Parecer CNE/CES nº 01 de 23 de janeiro de 2019 e da Resolução CNE/CES nº 02 de 24 de abril de 2019

<sup>30</sup> Art. 4º da Resolução CNE/CES nº 02 de 24 de abril de 2019 evidencia que além das competências gerais, devem ser agregadas as competências específicas de acordo com a habilitação ou com a ênfase do curso.

- a) ser capaz de utilizar técnicas adequadas de observação, compreensão, registro e análise das necessidades dos usuários e de seus contextos sociais, culturais, legais, ambientais e econômicos;
  - b) formular, de maneira ampla e sistêmica, questões de engenharia, considerando o usuário e seu contexto, concebendo soluções criativas, bem como o uso de técnicas adequadas;
2. analisar e compreender os fenômenos físicos e químicos por meio de modelos simbólicos, físicos e outros, verificados e validados por experimentação:
- a) ser capaz de modelar fenômenos, sistemas físicos e químicos, utilizando ferramentas matemáticas, estatísticas, computacionais e de simulação.
  - b) prever os resultados dos sistemas por meio dos modelos;
  - c) conceber experimentos que gerem resultados reais para o comportamento dos fenômenos e sistemas em estudo.
  - d) verificar e validar os modelos por meio de técnicas adequadas;
3. projetar, analisar sistemas, produtos (bens e serviços), componentes ou processos:
- a) ser capaz de conceber e projetar soluções criativas, desejáveis e viáveis, técnica e economicamente, nos contextos em que serão aplicadas;
  - b) projetar e determinar os parâmetros construtivos e operacionais para as soluções de engenharia;
  - c) aplicar conceitos de gestão para planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia;
4. implantar, supervisionar e controlar as soluções de engenharia:
- a) ser capaz de aplicar os conceitos de gestão para planejar, supervisionar, elaborar e coordenar a implantação das soluções de engenharia.
  - b) estar apto a gerir a força de trabalho e os recursos físicos, no que diz respeito aos materiais e à informação;
  - c) desenvolver sensibilidade global nas organizações;
  - d) projetar e desenvolver novas estruturas empreendedoras e soluções inovadoras para os problemas;
  - e) realizar a avaliação crítico-reflexiva dos impactos das soluções de engenharia nos contextos social, legal, econômico e ambiental;

5. comunicar-se eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica:
  - a) ser capaz de expressar-se adequadamente, seja em português, ou outro idioma, mantendo-se atualizado quanto a métodos e tecnologias disponíveis;
  
6. trabalhar e liderar equipes multidisciplinares:
  - a) ser capaz de interagir com as diferentes culturas, mediante trabalho em equipes presenciais ou a distância, de modo que facilite a construção coletiva;
  - b) atuar, de forma colaborativa, ética e profissional em equipes multidisciplinares, tanto localmente quanto em rede;
  - c) gerenciar projetos e liderar, de forma proativa e colaborativa, definindo as estratégias e construindo o consenso nos grupos;
  - d) reconhecer e conviver com as diferenças socioculturais nos mais diversos níveis em todos os contextos em que atua (globais/locais);
  - e) preparar-se para liderar empreendimentos em todos os seus aspectos de produção, finanças, pessoal e mercado;
  
7. conhecer e aplicar, com ética, a legislação e atos normativos no exercício da profissão:
  - a) ser capaz de compreender legislação, ética, responsabilidade profissional e avaliar impactos das atividades de engenharia na sociedade e meio ambiente.
  - b) atuar sempre respeitando a legislação, e com ética em todas as atividades, zelando para que isto ocorra também no contexto em que estiver atuando; e
  
8. aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, atualizando-se em relação aos avanços da ciência, tecnologia e desafios da inovação:
  - a) ser capaz de assumir atitude investigativa e autônoma, com vistas à aprendizagem contínua, à produção de novos conhecimentos e ao desenvolvimento de novas tecnologias.
  - b) aprender a aprender.

O perfil do egresso deve compreender as seguintes competências:

1. ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo, ético e forte formação técnica;
2. estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora;

3. ser capaz de reconhecer as necessidades dos usuários, formular, analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de engenharia;
4. adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática;
5. considerar os aspectos globais, políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e de segurança e saúde no trabalho;
6. Comprometer-se com responsabilidade social e desenvolvimento sustentável.

Diferenças entre as DCNs de engenharia homologadas em 2019 e versão anterior de 2002:

- As Novas DCNs enfatizam o comprometimento da formação do engenheiro com problemas que irão enfrentar na prática profissional, ressaltando que o desenvolvimento de currículos tenha foco em competências e não em conteúdos, como estabelecidos na anterior.
- Nas novas DCNs, os cursos poderão desenhar o currículo de forma mais flexível, desde que incluam conteúdos básicos, profissionais e específicos, ao contrário da obrigatoriedade de 30% da carga horária mínima para conteúdos básicos e 15% para conteúdos profissionalizantes, como previsto na antiga DCN.

O prof. José Roberto Cardoso<sup>31</sup>, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, destaca as principais mudanças trazidas pelas Novas DCNs:

- De ênfase em conteúdo para ênfase em competências;
- Da ênfase em competências técnicas para competências humanistas;
- De centrada no professor para centrada no aluno;
- De aprendizagem passiva para aprendizagem ativa;
- Mais atividades *Hands-on*; avaliação contínua e créditos para atividades extraclasse;
- Política de hospitalidade para acolhimento dos ingressantes.

Já o prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul<sup>32</sup>, resalta os principais desafios para implantação das Novas DCNs: mudança de mentalidade (docente, discente, institucional); adaptação à aprendizagem ativa; redes de colaboração e articulação; burocracias e aspectos legais; avaliação (interna e externa); comunicação e alinhamento de expectativas universidade-sociedade.

---

<sup>31</sup> Palestra proferida no webinar “*International Federation of Engineering Education Societies*”, em 09 de junho de 2020

<sup>32</sup> Em reunião virtual de lançamento do documento de apoio à implantação das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) do Curso de Graduação em Engenharia em 15/06/2020

## CAPÍTULO 2. METODOLOGIA

### 2.1. Pesquisa empírica na graduação em engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) na Escola de Química (EQ) e Escola Politécnica (Poli)

Para atingir o **objetivo específico 1. Identificar como as Novas Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em engenharia possam influenciar a formação do estudante para atuação na Indústria 4.0** foi realizada pesquisa empírica na Universidade Federal do Rio de Janeiro (Escola de Química e Escola Politécnica).

A natureza da pesquisa é exploratória e qualitativa. As pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar ideias. Este tipo de pesquisa é realizado quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil formular hipóteses precisas (GIL, 2008). A pesquisa qualitativa é emergente ao invés de pré-configurada e é fundamentalmente interpretativa, uma vez que o pesquisador faz uma interpretação dos dados (CRESWELL, 2007).

Para entender a influência das Novas DCNs de engenharia no desenvolvimento de competências do estudante e identificar como os cursos de engenharia estão se preparando para implementação das novas diretrizes foi realizada uma pesquisa empírica na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

#### 2.1.1. Escolha da Instituição de Ensino Superior (IES) de Engenharia

A escolha da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) para realização da pesquisa empírica, foi baseada em sua tradição, fama e prestígio na formação de engenheiros na Escola de Química (EQ) e na Escola Politécnica (Poli), reconhecidas no âmbito nacional e internacional. A Escola de Química oferece os cursos de graduação em engenharia química, engenharia de bioprocessos, engenharia de alimentos, além dos cursos compartilhados com a Escola Politécnica e/ou Coppe (engenharia de petróleo, engenharia de controle e instrumentação e engenharia ambiental. A Escola Politécnica oferece 13 cursos de graduação em engenharia: elétrica, eletrônica e de computação, mecânica, metalúrgica, de materiais, de controle e automação, de computação e informação, de petróleo, naval e oceânica, nuclear, de produção, ambiental e civil.

### **2.1.2. Coleta de dados**

Para a coleta de dados optou-se pela realização de entrevistas estruturadas com as dirigentes<sup>33</sup> Profa. Dra. Andrea Medeiros Salgado (diretora adjunta de graduação da Escola de Química) e Profa. Dra. Cláudia Vaz Morgado (diretora da Poli) baseadas na implementação das Novas DCNs e adaptação do modelo de Prifti et al. (2017), levando-se em conta a identificação das Oito Grandes categorias de competências comportamentais (Quadro 8) no processo de formação dos estudantes da Escola de Química e da Escola Politécnica. As entrevistas foram guiadas por roteiro estruturado (Anexo 1).

### **2.1.3. Elaboração do roteiro de entrevista**

De acordo com Gil (2008), o processo de preparação do roteiro para entrevistas estruturadas assemelha-se à redação de um questionário, em que o mesmo pode ser convertido num roteiro de entrevista e vice-versa. De acordo com o autor, embora não existam regras fixas a serem observadas para elaboração das perguntas na entrevista, elas devem ser formuladas de forma que estimulem os entrevistados de forma idêntica.

Dentre os estudos apresentados no capítulo 1, seção 1.4, o modelo de competência para Indústria 4.0 de Prifti et al (2017) foi escolhido para subsidiar a elaboração do instrumento de coleta de dados, considerando que o modelo foi desenvolvido para os cursos de engenharia, sistema de informação e ciência da computação da Universidade de Munique. Os pesquisadores alemães constataram que a maioria das competências era compatível com os 3 cursos, ratificando que os profissionais das três áreas deverão demonstrar elevado nível de competências comportamentais para trabalhar com sucesso na Indústria 4.0.

Do exposto, optou-se por estruturar o roteiro de entrevista da seguinte maneira:

1. Elaboração de perguntas sobre planejamento e implementação das Novas DCNs, a fim de compreender como a EQ/Poli estão se preparando para adequar o processo de formação do engenheiro às novas Diretrizes.

---

<sup>33</sup> Termo de Consentimento no Anexo 1

2. Formulação de questões sobre os argumentos<sup>34</sup> que fundamentaram a proposição das Novas DCNs com vistas a identificar evidências das Oito Grandes categorias de competências utilizadas por Prifti et al (2017) em seu modelo de competências para Indústria 4.0.

#### 2.1.4. Tratamento dos dados coletados na entrevista

Para o tratamento dos dados foram realizados os seguintes passos:

- Identificação das atividades de planejamento e gestão para implementação das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais nos Cursos de Engenharia da UFRJ (EQ e Poli).
- Identificação de evidências das Oito Grandes Categorias de Competência no processo de formação dos estudantes de engenharia da EQ/Poli a partir do nível 1 do *Universal Competence framework* (Quadro 8) e do modelo de competências<sup>35</sup> para Indústria 4.0 de Prifti et al (2017), (Figura 4), apresentados na revisão bibliográfica, seção 1.4. Para identificação do nível de qualidade das evidências foi utilizada a abordagem detalhada no estudo *GRADE Guidelines: Rating the quality of evidence* (GUYATT et al., 2011). *GRADE* consiste em 4 níveis de qualidade: elevada, moderada, baixa e muito baixa, definidas no Quadro 12.

Quadro 12. Níveis de qualidade de evidências e definição

Nível de Qualidade de Evidência	Definição
Elevada	Muita confiança na qualidade da evidência
Moderada	Confiança moderada na qualidade da evidência: realidade se aproxima bastante da estimativa, mas há possibilidade de que seja diferente
Baixa	Confiança baixa na qualidade da evidência: realidade talvez seja substancialmente diferente da estimada
Muito Baixa	Muito pouca confiança na qualidade da evidência: realidade poderá ser substancialmente diferente da estimada

Fonte: Guyatt et al. (2011)

<sup>34</sup> Os argumentos são: desenvolvimento de competências, metodologias inovadoras, indução de políticas institucionais inovadoras, ênfase na gestão do processo de aprendizagem, fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações.

<sup>35</sup> Modelo de competência consiste em uma lista de competências desejadas para uma determinada tarefa, as quais podem incluir diferentes níveis de detalhes e descrever relações entre as competências.

### Limitação da pesquisa empírica

Algumas limitações podem ser identificadas no processo subjetivo de avaliação da qualidade de evidências das competências comportamentais a partir das respostas das dirigentes das escolas de engenharia. Ressalta-se, no entanto, que a abordagem *GRADE* fornece um *framework* robusto para análise dos julgamentos. Sugere-se para futuros estudos ampliar o escopo da investigação abrangendo escolas de engenharia de outros estados brasileiros.

## 2.2. Metodologia para proposição do modelo de colaboração entre engenheiro e aplicação de inteligência artificial para desenvolvimento de competências profissionais

Para alcance do **objetivo específico 2. Propor modelo para colaboração entre engenheiro e máquina com aplicação de inteligência artificial para desenvolvimento de competências profissionais**, fez-se necessária vivência no Instituto Fraunhofer de Sistemas de Produção e Tecnologia de *Design* no período de outubro de 2018 a setembro de 2019, financiada pelo Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). A escolha da Divisão Criação Virtual de Produtos e do Departamento de Engenharia baseada em Modelos foi baseada na *expertise* em desenvolvimento de modelos e métodos para criação de produtos inteligentes.

O desenvolvimento do modelo consistiu nos seguintes passos:

- Aplicou-se técnica *Design Thinking* (Brown, 2010), que possibilitou discutir ideias com integrantes do grupo de pesquisa *Workplace of the Future* no Instituto Fraunhofer IPK para concepção do modelo de colaboração engenheiro-máquina.
- Na sequência, foi realizada modelagem cognitiva do pensamento crítico do engenheiro para treinamento do algoritmo de IA com adaptação de Paul e Elder (2002, 2006) integrada à concepção do modelo gerado pela técnica *Design Thinking*.
- Finalmente, partiu-se para modelagem da colaboração engenheiro-máquina integrando-se modelagem cognitiva do pensamento crítico do engenheiro para treinamento do algoritmo de IA a uma adaptação do modelo de Riley (1989).

## **CAPÍTULO 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. As Novas DCNs e competências comportamentais para atuação na Indústria 4.0 nos cursos de engenharia na Escola de Química e Escola Politécnica (UFRJ)**

Nesta seção são apresentados os resultados das entrevistas com as dirigentes da UFRJ (EQ/Poli). Discute-se planejamento e gestão para implementação das Novas DCNs; qualidade de evidência das Oito Grandes categorias de competência no processo de formação do engenheiro e competências comportamentais para atuação do engenheiro na Indústria 4.0. Na sequência, discute-se a influência das Novas DCNs na oferta de competências comportamentais para Indústria 4.0 nos cursos de engenharia da EQ/Poli.

#### **3.1.1. Planejamento e gestão para implementação das Novas DCNs de engenharia**

De acordo com o Art. 15 da Resolução CNE/CES Nº 2/2019 a implantação e o desenvolvimento das Novas DCNs de engenharia devem ser acompanhadas, monitoradas e avaliadas pelas IES, além dos processos de avaliação conduzidos pelo MEC.

Os resultados da pesquisa empírica apontam que até março de 2020, data de realização da entrevista, foram elaborados Planos de Ação, ou seja, declaração de intenções para testar metodologias inovadoras em algumas disciplinas, envolver docentes na discussão de alteração dos Projetos Pedagógicos dos Cursos e reformas curriculares.

No entanto, não foi formada equipe responsável pela implementação das Novas DCNs de engenharia bem como não há plano de metas nem cronograma. Adicionalmente, não se constatou estabelecimento de estratégias para o desenvolvimento de competências, ou mesmo a criação de um plano de comunicação para monitoramento do progresso das ações no curto e médio prazo. Ressalta-se que a questão formulada na entrevista sobre estratégia e gestão do processo de aprendizagem não foi respondida.

Recomenda-se tratar o desafio da implementação das novas DCNs de engenharia, e particularmente, o desenvolvimento de competências como um projeto, o que pode trazer benefícios para todos os envolvidos. A elaboração de um plano de ação detalhando escopo, responsáveis pelas ações, metas, estimativa de prazo final de execução de cada ação, criação de pontos de controle dos resultados a serem comparados com as expectativas e marcos de curto e médio prazos para acompanhamento do progresso, poderá trazer maior agilidade na tomada de decisões e na correção de rumos.

### 3.1.2. Qualidade de evidência das Oito Grandes categorias de competência na formação dos estudantes de engenharia da EQ/Poli

O Quadro 13 descreve, na coluna 1, as Oito Grandes categorias de competências (Quadro 8) derivadas do modelo de Prifti et al. (2017); as respostas das dirigentes na coluna 2, levando em conta o planejamento para implantação das Novas DCNs (item 2.5) e o nível de qualidade das evidências das Oito Grandes na coluna 3 (GUYART et al., 2011) (Quadro 12).

Quadro 13. Qualidade de evidências das oito grandes categorias de competências

Oito Grandes Categorias de competências	Dados coletados na entrevista com as dirigentes da UFRJ (EQ/Politécnica) (Anexo 2)	Nível de Qualidade de Evidências
1. Suporte e cooperação	As alianças têm sido com o CREA, o Clube de Engenharia e as empresas. O portfólio de alianças na universidade é feito através de projetos de pesquisa e da absorção de alunos pelas empresas parceiras, as quais vêm na universidade a oportunidade de divulgar seus processos de vagas e requisitam os alunos para completar seus quadros.	confiança <b>moderada</b> na qualidade da evidência, mas há possibilidade da realidade ser diferente
2. Interação e apresentação	Um plano de ampliação de interação seria importante para mostrar o verdadeiro perfil de atuação dos alunos. Esta tarefa vem sendo planejada pela coordenação de estágios e após uma análise das empresas parceiras, será possível prospectar outras empresas.	<b>Baixa</b> confiança baixa na qualidade da evidência; realidade talvez seja substancialmente diferente
3. Análise e interpretação	Em relação à Indústria 4.0/Inteligência Artificial na capacitação do engenheiro, esta envolve ações que implementem, nas disciplinas ministradas, computação científica e ferramentas que possam trazer esta expertise aos alunos. As ações deverão ser implementadas pelo corpo docente, desde que devidamente incorporadas no projeto pedagógico dos cursos e nas ementas das disciplinas que puderem usar tais artifícios.  Muitas tarefas que o engenheiro exerce não são a essência do trabalho de um engenheiro, que é pensar sistemas, criar, propor soluções, identificar e analisar problemas, inovar, ou seja, tudo que uma máquina pode fazer não são funções de um engenheiro. Um engenheiro na sua educação continuada deve ter a meta de ser um maestro onde conduza uma orquestra de expertises, e todo regente virtuoso começa sendo especialista em um instrumento musical (uma habilitação em engenharia).	Confiança <b>moderada</b> na qualidade da evidência, mas há possibilidade da realidade ser diferente

4. Criatividade e conceituação	A engenharia é, por sua natureza, multidisciplinar, foi esartejada pelo excessivo método científico aplicado a área profissional, o método ótimo para pesquisa, mas péssimo para se fazer um projeto ( <i>design</i> ), é preciso voltar ao método de desenvolvimento de soluções de problemas, identificar os problemas, estudar os problemas, definir a demanda, elaborar a solução, dimensionar o projeto ( <i>design</i> ) e estudar sua viabilidade (agora multicritério sustentável) e detalhar sua execução. A reforma curricular está caminhando nessa direção.	Confiança <b>moderada</b> na qualidade da evidência, mas há possibilidade da realidade ser diferente
5. Organização e execução	São muitas as metodologias que permitirão reformulação na forma de ensinar e formar de modo distinto estes profissionais, mantendo sempre a relação entre a prática e a teoria: metodologias ativas, projetos integradores, sala de aula invertida, uso de blogs, robótica, <i>moodle</i> , modelagem, vídeos, fóruns, resolução de problemas em grupo, oficinas.	<b>“Baixa”</b> confiança baixa na qualidade da evidência; realidade talvez seja substancialmente diferente
6. Adaptação e resiliência	Os estudantes que abandonam o curso são aqueles que por serem extremamente inteligentes conseguem se sobressair, mesmo que em um curso que não foi sua 1ª opção de escolha. Ao perceberem isso, evadem em busca de suas reais aptidões. Acredito que o principal meio de medir o sucesso de um aluno ao longo de um curso de engenharia é a sua inserção no mercado, seja através de estágios ao longo do curso, ou mesmo sua absorção no mercado de trabalho após a conclusão do curso. Hoje cerca de 80% de nossos alunos realizam estágio em empresas e ao término do curso 70% estão empregados e 10% realizando pós-graduação.  Se construiu a tradição de analisar o Coeficiente de Rendimento Acadêmico, que na prática é valorizado mais pelos docentes e o mercado de trabalho, que avalia outras habilidades.	Confiança <b>moderada</b> na qualidade da evidência, mas há possibilidade da realidade ser diferente
7. Empreendedorismo e desempenho	Não há evidências.	
8. Liderança e decisão	Quanto a encorajar o estudante a monitorar o próprio aprendizado/desempenho ao longo do curso é complicado. Se não for um trabalho muito bem direcionado pedagogicamente e psicologicamente falando, pode gerar frustrações e até atrapalhar o processo. Um acompanhamento junto a um docente, acho que é o ideal, pois o aluno pode ter clareza de suas reais possibilidades, em função de seu momento de vida e necessidade atual.	<b>“Baixa”</b> confiança baixa na qualidade da evidência; realidade talvez seja substancialmente diferente

Fonte: elaboração própria

### 3.1.3. Interpretação dos resultados da qualidade de evidências das oito grandes categorias de competências:

Ressalta-se que a avaliação da qualidade de evidências é um processo subjetivo e poderá divergir da interpretação de outro pesquisador. No entanto, o mérito da abordagem *GRADE* é fornecer um *framework* para análise e comunicação dos julgamentos.

Os resultados apontam **confiança “Moderada” na qualidade de evidência** para as seguintes Grandes Categorias de Competências:

- Suporte e Cooperação: há oportunidade para fortalecimento e diversificação de redes de relacionamento, parcerias e alianças; o que favorecerá o desenvolvimento de projetos para incrementar o domínio desta “grande competência” pelos estudantes.
- Análise e Interpretação: assimilação e aplicação das tecnologias digitais emergentes pode escalar oportunidades para capacitação na solução de problemas complexos demandados pelas empresas e pela sociedade preparando os estudantes para atuar na Indústria 4.0 com sucesso.
- Criatividade e Conceituação: pensamento estratégico e criatividade são essenciais para estudar demandas da sociedade/usuários; elaborar *design* de tecnologias e detalhar execução para produtos/processos inovadores. Requer-se um desenho curricular que propicie interdisciplinaridade e atividades *hands-on*.
- Adaptação e Resiliência: combater a evasão dos estudantes de engenharia é um ponto de atenção do Art, 7º da Resolução CNE/CES Nº 2/2019. Os resultados apontam que o estudante pode apresentar elevado rendimento acadêmico, fazer estágio, e mesmo assim optar por abandonar o curso. Responder bem às mudanças e pressão por resultados podem ser exercitados por meio de integração do estudante em times de projetos com foco em problemas reais ao longo do curso de engenharia. E a reforma curricular apresenta oportunidades isto.

**Confiança “Baixa” na qualidade de evidência** para:

- Interação e Apresentação: a ampliação de parcerias do ambiente acadêmico com profissionais de empresas/indústria pode propiciar oportunidades de adquirir/aperfeiçoar habilidades de comunicação oral/escrita, defender argumentos/pontos de vistas de forma eficaz e com confiança.

- Organização e Execução: ser organizado é um pré-requisito para fazer as coisas acontecerem com elevado padrão de qualidade. Para que o aluno seja protagonista do processo de aprendizagem, requer-se um novo papel do docente e além disso, o uso de metodologias inovadoras para desenvolvimento de competências é um desafio.
- Liderança e Decisão: para que o estudante de engenharia aprenda a dar direção, foco, liderar e assumir responsabilidade, é preciso muita prática. O aluno estará preparado para monitorar o próprio aprendizado/desempenho ao longo do curso?

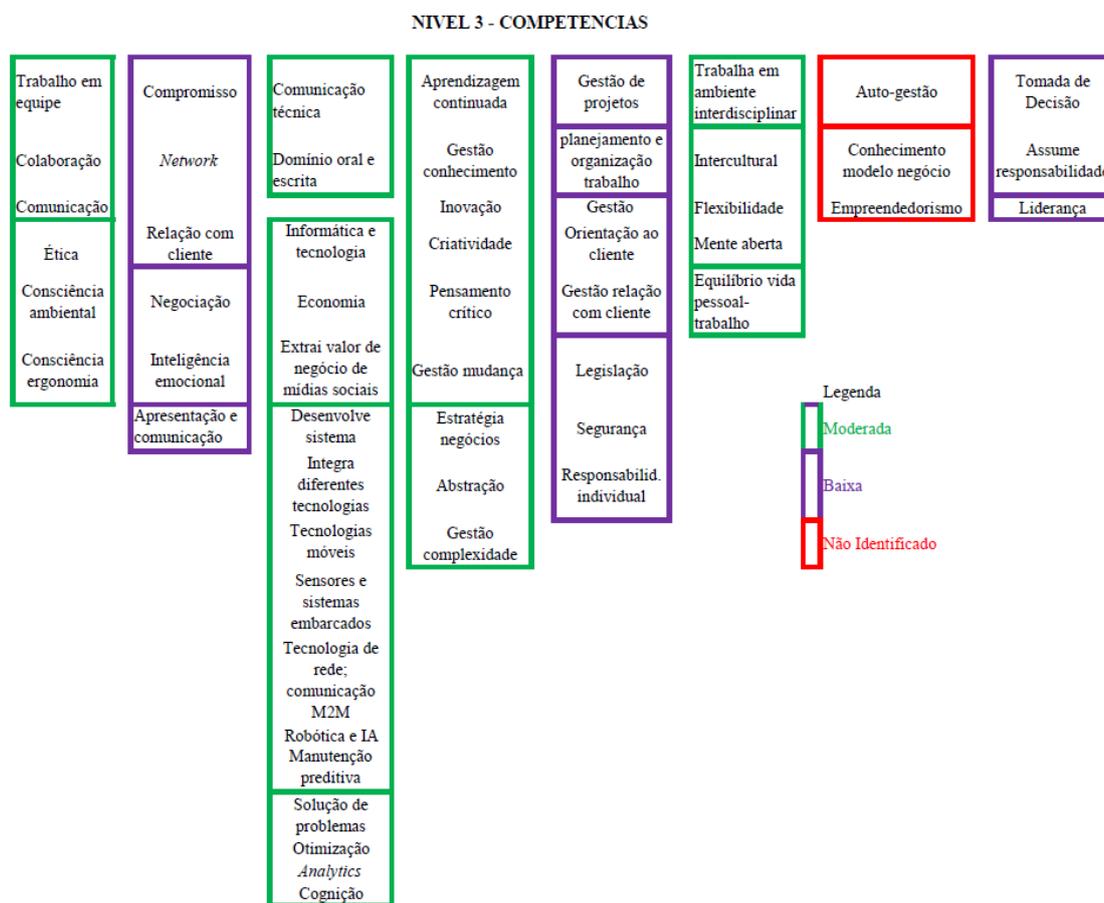
**Não foi encontrada evidência** para:

- Empreendedorismo e Desempenho: O Art. 5º da Resolução CNE/CES Nº 2/2019 trata de áreas de atuação do engenheiro, ressaltando que a depender do perfil e das competências dos egressos, previstas no projeto pedagógico do curso, os engenheiros poderão atuar como projetista de soluções inovadoras; como empreendedor/gestor, ou em atividades de docência, treinamento e formação de profissionais da área tecnológica. Mas não foram encontradas evidências de ações da EQ/Poli para planejar/implementar tais atuações do engenheiro.

Os resultados da pesquisa apontam (Figura 6) que o desenvolvimento de competências comportamentais nos cursos de engenharia da EQ/Poli é promissor, uma vez identificadas evidências qualificadas como **Moderada** (cor verde, a grande maioria delas) podendo potencializar resultados a curto prazo (1 período letivo ou 120 dias), se recursos (conhecimento acumulado, talento e experiência docente), processos (governança, infraestrutura, laboratórios, pesquisa) e valores (aprendizagem do aluno como prioridade) forem mobilizados. Para desenvolvimento de competências comportamentais com evidências qualificadas como **Baixa** (cor roxa – por exemplo relativas à relação com o cliente, tomada de decisão, inteligência emocional) e **não identificada** (cor vermelha) – auto gestão, conhecimento de modelo de negócios e empreendedorismo; sugere-se prospecção de parceiros externos complementares que possam apoiar na criação de estratégias para o desenvolvimento destas competências no médio prazo (2 períodos letivos ou 240 dias) ou mesmo um prazo mais longo. Competências comportamentais com evidências de qualidade elevada não foram identificadas. Cabe lembrar que o modelo de Prifti et al. (2017) apresenta competências comportamentais no nível 3 para os cursos de sistemas de informação, ciência da computação e engenharia. Assim, foram extraídas competências específicas do curso de

engenharia com avaliação do nível de qualidade de evidência desdobrada a partir da avaliação por meio das Oito Grandes Competências (Figura 6).

Figura 6. Qualidade de evidências de competências comportamentais para Indústria 4.0 na escola de química e escola politécnica (UFRJ)



Fonte: elaboração própria

Os resultados da pesquisa forneceram suporte à compreensão de que o sucesso na implantação das Novas DCNs no desenvolvimento de competências comportamentais dos estudantes de engenharia para Indústria 4.0 depende, principalmente, do talento docente para desenhar atividades, estimular o estudante, fornecer *feedbacks* de melhoria e impulsionar experiências relevantes para a formação dos futuros engenheiros. Os achados desta pesquisa poderão contribuir para a discussão da implementação das novas DCNs de engenharia como um projeto, o que pode trazer benefícios para os *stakeholders*. Elaboração de plano de ação detalhando escopo, responsáveis pelas ações, metas,

estimativa de prazo final de execução de cada ação, criação de pontos de controle para acompanhamento dos resultados poderá trazer maior agilidade na tomada de decisões e na correção de rumos.

Após apresentar os resultados das entrevistas com as dirigentes, tendo discutido ações relativas ao planejamento e gestão para implementação das Novas DCNs e analisado a qualidade de evidência das Oito Grandes categorias de competência no processo de formação do engenheiro, discute-se, a seguir, a influência das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais no desenvolvimento de competências comportamentais para Indústria 4.0 nos cursos da EQ/Poli.

### **3.1.4. Influência das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais no desenvolvimento de competências comportamentais para Indústria 4.0 nos cursos de engenharia da Escola de Química e Escola Politécnica.**

Os resultados da pesquisa empírica na EQ/Poli apontam<sup>36</sup> que o desenvolvimento de competências comportamentais com evidências qualificadas como “Moderada” poderão potencializar resultados a curto prazo, se os *recursos* (conhecimento acumulado/experiência docente); *processos* (capacidades) e *valores* (determinação de prioridades) forem mobilizados.

Para o desenvolvimento das competências com evidências qualificadas como “Baixa” e “Não Identificada”, sugere-se a prospecção de parceiros e a formação de redes de colaboração/articulação que possam apoiar na criação de estratégias para o desenvolvimento destas competências ao longo do curso.

Assim, considerando as respostas das diretoras, as Novas DCNs de engenharia e o modelo de Prifti et al (2017) **propõe-se ferramenta** apresentada no Quadro 14 para apoiar criação de estratégias para o desenvolvimento das competências comportamentais.

- Esta ferramenta é de fácil aplicação: basta completar o Quadro 14 com a identificação das competências comportamentais a serem desenvolvidas.
- Para cada competência, determine o que é *desejável* (o que quer), *discutível* (o que será considerado) e *descartar* (não é possível).

---

<sup>36</sup> Cabe lembrar que a avaliação do nível de qualidade de evidência realizado para as Oito Grandes Competências (Nível 1) é desdobrado para os Dimensões de Competências (Níveis 2) e Competências para Indústria 4.0 (Nível 3).

- Faça sessões de *brainstorming* e liste as estratégias para o desenvolvimento das respectivas competências.
- Identifique indústrias para formar sua rede de colaboração, especificando ação e engenheiro responsável pela sua execução.
- Por fim, estabeleça resultados de curto prazo (1 período letivo ou 120 dias) e médio prazo (2 períodos letivos ou 180 dias) que pretende alcançar.

Quadro 14. Estratégias para desenvolvimento de competências comportamentais

<b>Competências comportamentais</b>	<b>Desejável</b>	<b>Discutível</b>	<b>Descartar</b>
Apresentação e comunicação			
Tomada de decisão			
Liderança			
Autogestão			
Relação com o cliente			
Empreendedorismo			
Criatividade			

...

Descrever as estratégias

- 1.
- 2.
- 3.

Identificar qual indústria / Qual ação / Qual engenheiro responsável

- 1.
- 2.
- 3.

Identificar resultados de curto prazo a serem alcançados (1 período letivo ou 120 dias)

- 1.
- 2.
- 3.

Identificar resultados de médio prazo a serem alcançados (2 períodos letivos ou 240 dias)

- 1.
- 2.
- 3.

Fonte: elaboração própria

Considerando que o conhecimento envolve vivências em vários contextos, **propõe-se subsídios** para o desenvolvimento das competências comportamentais. Estes subsídios foram extraídos da revisão bibliográfica (Capítulo 1, seção 1.4; BARAB e ROTH, 2006; KOLB, 1984; 2005).

- o professor deve configurar “problema” que propicie ao estudante vivenciar novas situações;
- O professor deve disponibilizar recursos e sugerir atividades através das quais o estudante possa criar conexões de redes para resolver o problema proposto;
- O professor deve promover o engajamento físico e emocional do estudante durante a atividade de aprendizagem:
  - Desenhar experiências práticas em que o aluno siga instruções passo a passo para aprender conceitos (experiência concreta).
  - Incentivar atividades de discussão que exigem que o estudante reflita sobre sua experiência prática, em dupla ou em grupos (observação reflexiva).
  - Promover e apoiar discussões para conectar a experiência de aprendizagem a um modelo teórico (conceituação abstrata).
  - Promover atividades em que o estudante possa planejar e experimentar experiências concretas sem instruções detalhadas (experimentação ativa).

### 3.2. Modelo de colaboração engenheiro-máquina com aplicação de Inteligência Artificial para desenvolvimento continuado de competências profissionais

#### 3.2.1. Aplicação do *Design Thinking*:

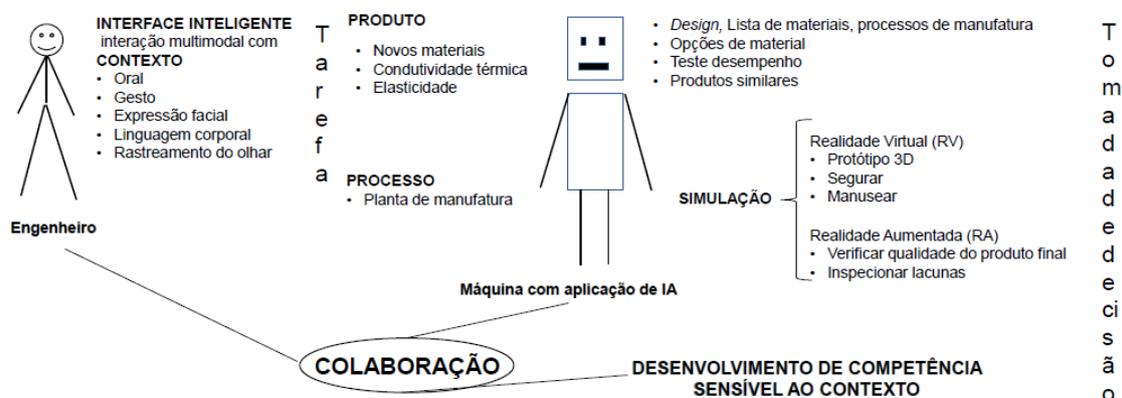
*Design Thinking* é uma técnica criativa que possibilita descrever situação futura para discutir ideias e criar narrativas *de* cenários. Adicionalmente, esta técnica possibilita a criação de protótipos para dar forma a ideias e experiências concretas, permitindo avaliação para melhorá-la (BROWN, 2010).

A Figura 7 ilustra a concepção do modelo de colaboração entre engenheiro e aplicação de inteligência artificial, em que os 2 agentes (engenheiro e IA) comunicam-se por meio de interfaces inteligentes – reconhecimento de voz, gestos, expressão facial, linguagem corporal, rastreamento de olhar – dependendo do contexto.

Para exemplificar a colaboração engenheiro-máquina optou-se pelo caso concreto de desenvolvimento de produto e tomada de decisão com foco em novos materiais e domínio de engenharia de *design*:

- **Engenheiro:** solicita busca de produtos similares ao que deseja desenvolver;
- **IA:** apresenta *design*, lista e tipo de material de produto similar;
- **Engenheiro:** informa parâmetros de condutividade térmica e elasticidade do material;
- **IA:** fornece opções de materias, fornecedores e vídeo de teste com produto similar;
- **Engenheiro:** explora recursos de simulação oferecidos por tecnologias de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA), obtendo *insights* sobre características de materiais e manuseio do produto. Com RV poderá desenvolver protótipos, manusear componentes/produto e com RA poderá inspecionar montagem de componentes.

Figura 7. Concepção do modelo de colaboração engenheiro-máquina (IA) usando a técnica Design Thinking



Fonte: elaboração própria

Propõe-se que, no futuro, o desenvolvimento continuado de competências profissionais do engenheiro seja realizado com a colaboração de aplicação de Inteligência Artificial embarcada em assistentes pessoais digitais em dispositivos móveis (*smartphones e tablets*).

Dentre as principais interfaces inteligentes a serem utilizadas para comunicação entre o engenheiro e a aplicação de IA, destacam-se:

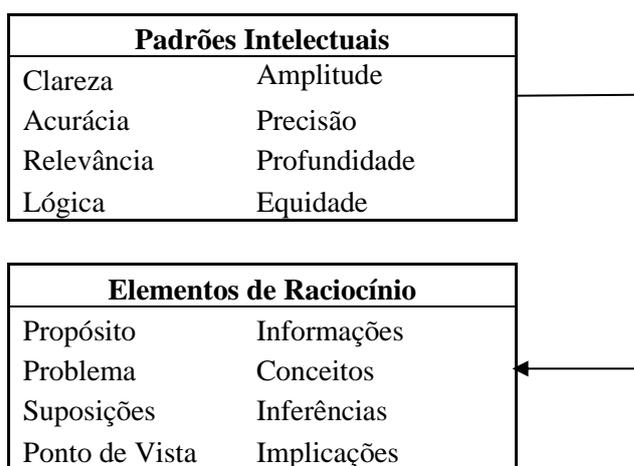
- Linguagem Natural - incluindo recursos de interação por voz - capaz de responder às perguntas do engenheiro sobre tarefas, processos e componentes. O objetivo é fornecer suporte em tempo real ao engenheiro por meio da abordagem de pergunta-resposta, como faria se estivesse conversando com um especialista humano experiente. Este processo deve ocorrer num ciclo iterativo, em que o engenheiro formula novas perguntas ou pede mais detalhes.
- Rastreamento de gestos - fornece sugestões proativas aos engenheiros (por exemplo, mensagens de advertência sobre comportamentos inadequados e/ou demonstração da forma correta de executar tarefas e procedimentos.
- Reconhecimento de imagem (expressão facial, rastreamento de olhar, leitura labial). O reconhecimento de imagem ocorre por meio da visão computacional ao captar entradas de uma câmera, criando um mapeamento sobre elas. Em seguida, algoritmos de IA realizam o processamento, buscando padrões por meio de comparações com o banco de dados.

IA poderá ampliar a capacidade cognitiva do engenheiro, tornando-se uma “colega especialista” com quem o engenheiro poderá contar para coleta, análise, organização de dados; apoio na formulação e solução de problemas complexos de engenharia, alcance de metas e tomadas de decisão. Simulações com tecnologias de Realidade Virtual (RV) possibilitam que o engenheiro tome decisões e teste os resultados de suas decisões. O uso de tecnologias de Realidade Aumentada (RA) apoiará a aquisição de competências para familiarização com funcionalidades do produto, seus componentes e funções. O aprendizado será recíproco, pois a máquina também será capaz de aprender e evoluir ao longo do tempo com base no *feedback* fornecido pelo engenheiro.

### 3.2.2. Modelagem cognitiva do pensamento crítico e raciocínio lógico do engenheiro

A modelagem cognitiva do engenheiro para treinamento do algoritmo de IA foi baseada no modelo de Pensamento Crítico<sup>37</sup> desenvolvido por Paul e Elder (2002) (Figura 8) e na ferramenta *The Engineering Reasoning Thinker's Guide* (PAUL e ELDER, 2006).

Figura 8. Modelo de pensamento crítico



Fonte: adaptado de Paul e Elder (2002)

Os padrões intelectuais aplicados aos elementos de raciocínio, provocam o pensamento crítico.

Como explicado por Daugherty e Wilson (2018), na seção 1.2 da revisão bibliográfica, humanos treinam IA para o desempenho de tarefas, modelando o comportamento da máquina por meio de ações humanas. As habilidades e capacidades inerentemente humanas abrangem liderança, improvisação, criatividade, julgamento; enquanto as da máquinas são iteração, predictabilidade e transação.

<sup>37</sup> Processo disciplinado de conceituar, analisar, sintetizar e/ou avaliar informações coletadas ou geradas pela observação, experiência, reflexão, raciocínio ou comunicação, como guia de fornecimento e ação.

Assim, a modelagem cognitiva do engenheiro para treinamento do algoritmo de IA foi baseada no modelo de pensamento crítico (PAUL e ELDER, 2002), apresentado na Figura 8 e na ferramenta *The Engineering Reasoning Thinker's Guide* (PAUL e ELDER 2006), um *checklist*, descrito abaixo, descrevendo os elementos de raciocínio com instruções para guiar o raciocínio lógico e o pensamento crítico do engenheiro:

1. Expressa um propósito. Declarar claramente o propósito.
  - Diferenciar propósito de outros relacionados
  - Monitorar progresso periodicamente
  
2. Busca resolver algum problema específico.
  - Definir o problema de forma clara e precisa
  - Representar o problema de maneiras variadas para esclarecer seu escopo
  - identificar se o problema requer raciocínio de mais hipóteses ou ponto de vista
  
3. Requer suposições
  - Identificar claramente as suposições e determinar se são justificáveis
  - Considerar como as suposições estão moldando o ponto de vista
  - Considerar o impacto de suposições alternativas ou não expressas
  - Considerar o impacto da eliminação de suposições
  
4. É realizado sob um ponto de vista
  - Identificar o ponto de vista específico
  - Considerar o ponto de vista dos *stakeholders*
  - Avaliar todos os pontos de vista relevantes
  
5. É baseado em dados, informações e evidências
  - Validar fontes de dados
  - Restringir reivindicações àquelas suportados pelos dados
  - Certificar -se da clareza, precisão, suficiência e relevância dos dados
  
6. É construído por meio de conceitos
  - Identificar e explicar claramente os conceitos-chave
  - Considerar conceitos alternativos

7. Implica em inferências que conduzem a conclusões

- Inferir apenas o que os dados suportam
- Verificar consistência das inferências
- Identificar suposições que levaram a conclusões

8. Leva a implicações

- Avaliar implicações e consequências que se seguem de seus dados e raciocínio
- Identificar implicações técnicas, sociais, ambientais, Financeiras e éticas

Segue exemplo de aplicação do do *checklist*: 1. o engenheiro expressa propósito: declarar propósito, diferenciando-o de outros relacionados e monitorar progresso periodicamente. 2. engenheiro busca resolver um problema específico: definir problema de forma precisa, representando-o de maneiras variadas para esclarecer seu escopo e identificar se o problema requer raciocínio de mais hipóteses ou pontos de vista, e assim sucessivamente....para todos os elementos de raciocínio.

Aplicou-se a concepção do modelo (Figura 7) ao *checklist* (Paul e Elder, 2006) para modelar treinamento de IA, apresentado no Quadro 15. As ações do engenheiro estão descritas à esquerda e as ações da máquina à direita. Por exemplo, na primeira linha: engenheiro define problema e expressa objetivo = tomada de decisão quanto ao desenvolvimento de novos produtos. A máquina = checa permissão e infere intenção do engenheiro. Na segunda linha: engenheiro expressa questionamentos = que tipo de material é mais adequado para revestimento superior e inferior do produto? A máquina = recebe/processa informação e apresenta desenho, lista de material. E assim sucessivamente, até a última ação “decisão”. O engenheiro aplica raciocínio lógico, análise crítica e tomada de decisão para treinar a máquina (aplicação de IA), que amplifica sua memória, busca e processa informação e o apoia em tomadas de decisão.

Quadro 15. Modelagem para treinamento de IA pelo engenheiro

ENGENHEIRO	MÁQUINA
<b>Define Problema e Expressa Objetivo:</b> tomada de decisão quanto ao desenvolvimento de novos produtos	<b>Checa permissão e infere intenção / conhecimento do engenheiro</b>
<b>Expressa Questionamentos:</b> que tipo de material é mais adequado para revestimento superior e inferior do produto RRR?	<b>Recebe/processa informação:</b> <b>Apresenta</b> desenho, lista de materiais e processos.
<b>Fornecer Informações:</b> faixa dos parâmetros de condutividade/elasticidade do material para revestimento superior e inferior do cilindro do produto RRR.	<b>Processa informação e oferece alternativas para tomada de decisão</b>  <b>Apresenta</b> 3 opções de tipo de material, sugerindo uma melhor opção  <b>Apresenta</b> vídeo com teste de desempenho, produtos similares/respectivos fornecedores aguardando aprovação do engenheiro para implementação de ação.
<b>Percebe comportamento da máquina;</b> <b>Percebe apresentação das informações;</b> <b>Monitora e Requisita Informações:</b> simulação ambiente de Realidade Virtual/protótipo 3D produto para obter insights quanto à manipulação desempenho do produto.  Simulação de qualidade da montagem final do produto por meio de RA para inspecionar possíveis <i>gaps</i> .	Faz simulação  Gera protótipo 3D do produto RRR  Adverte engenheiro quanto à forma correta de manusear o produto.
<b>Checa inferências:</b> custo de produção	Apresenta projeção holográfica da área de produção. Monitora movimentos de colega da produção/requisita colaboração
<b>Decide</b>	

Fonte: elaboração própria

Cada agente, engenheiro e máquina, emprega suas habilidades e capacidades (aptidões) específicas, ou seja, o engenheiro faz uso de seu raciocínio lógico, análise crítica, criatividade para resolução de problemas e tomada de decisão. A máquina amplifica a memória do homem, realiza atividades repetitivas, busca e processa informação com extrema velocidade.

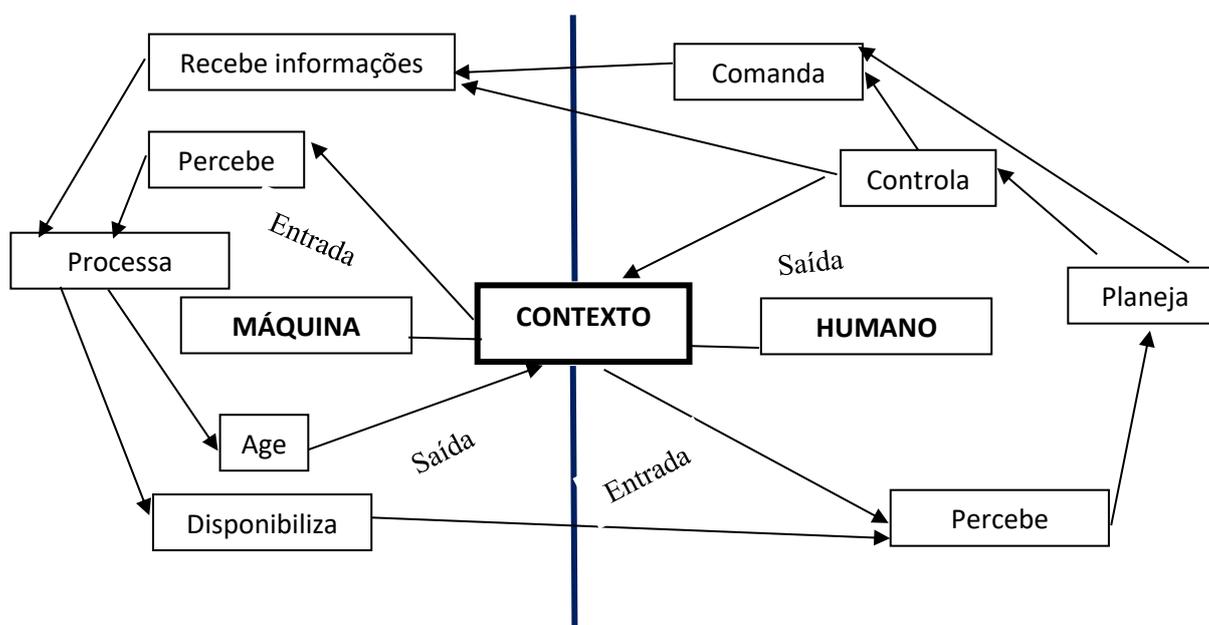
No entanto, as máquinas não podem improvisar, ou mesmo lidar com desvios ou irregularidades. Como apontado na revisão bibliográfica, Capítulo 1, seção 1.2, a comunicação de uma intenção de forma adequada é fundamental para eficácia numa

colaboração humano-máquina, que abrange troca de informações, comunicação, apoio comportamental iniciativa e liderança.

Outro aspecto importante a ressaltar é que adaptação mútua, previsibilidade e compreensão compartilhada são encontrados tanto em equipe formada apenas por humanos, como por humano e máquina (SYCARA e LEWIS, 2004; SYCARA e SUKTGHANKAR, 2006).

Por fim, adaptou-se o modelo de fluxo de informações interação homem-máquina de Riley (1989) exposto na Figura 9, integrando-se modelagem para treinamento de IA pelo engenheiro (Quadro 15) para gerar o modelo de colaboração engenheiro-máquina com aplicação de IA, apresenta-se na Figura 10.

Figura 9. Modelo de fluxo de informações na interação homem-máquina

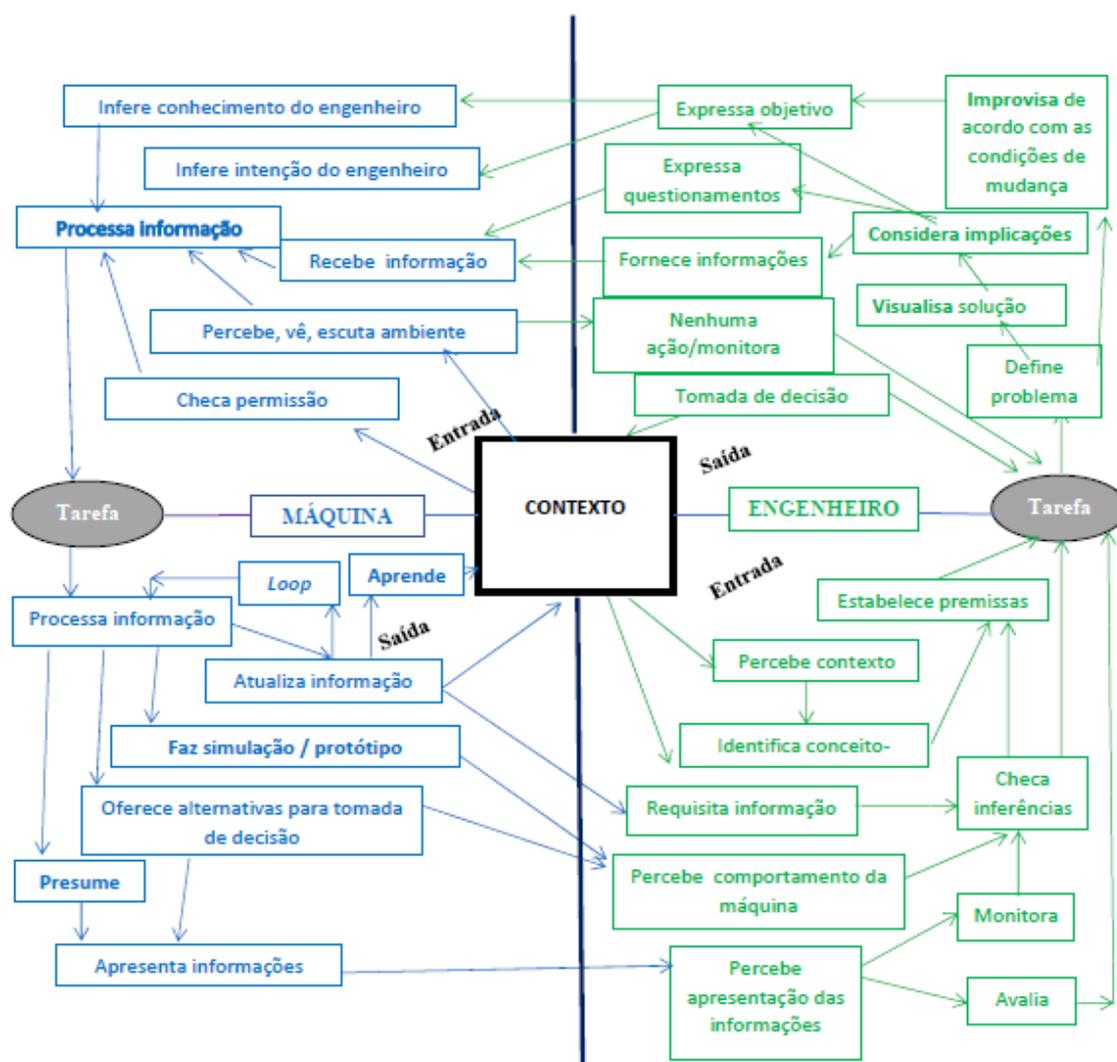


Fonte: adaptado de Riley (1989)

O modelo de fluxo de informações na interação homem-máquina de Riley (1989) reflete um trabalho de dois agentes (homem e máquina) abrangendo:

- Formulação da intenção e estabelecimento da meta;
- Especificação de sequenciamento de ações;
- Execução, percepção e interpretação dos resultados das ações;
- Avaliação quanto ao alcance da intenção e meta.

Figura 10. Modelagem para colaboração engenheiro-máquina



Fonte: elaboração própria

O modelo de colaboração engenheiro-máquina abrange a máquina representada do lado esquerdo, o engenheiro do lado direito e o contexto<sup>38</sup> no centro. **Nesta tese o contexto abrange as tecnologias e as interfaces multimodais inteligentes utilizadas para interação entre o engenheiro e a máquina (aplicação de IA).**

Nos 3 *loops* de interação – engenheiro-contexto; máquina-contexto e engenheiro-máquina – ocorrem os processamentos das informações:

- o contexto fornece informações à máquina e ao humano;
- máquina e humano fornecem informações ao contexto sob a forma de ações.
- Há também um *loop* para troca de informações entre engenheiro e máquina.

<sup>38</sup> O contexto significa toda informação que possa ser usada para caracterizar a situação considerada relevante para a interação, bem como condições ou circunstâncias que possam afetar a realização de determinada tarefa (ABOWD et al., 1999)

A inteligência do método de colaboração engenheiro-máquina deriva-se da aplicação do conceito da terceira onda de IA (*Perception AI*), descrita por Lee (2018), em que as máquinas podem ver, ouvir e rastrear o ambiente por meio de linguagem natural abrangendo fala, texto, reconhecimento de gestos e reconhecimento de imagem abrangendo expressões faciais, rastreamento de olhares, leitura labial.

IA pode tornar-se uma “colega de trabalho” com quem o engenheiro poderá contar para coleta, tratamento de dados e apoio em tomadas de decisão; simulação com tecnologia de Realidade Virtual para validar soluções e Realidade Aumentada para familiarização com funcionalidades de produtos.

Finalmente, apresenta-se como seria “um dia típico de trabalho” do engenheiro aplicando as competências desenvolvidas na execução de tarefas em colaboração com máquinas inteligentes. Optou-se por criar um cenário na forma de *storytelling*<sup>39</sup>. Daí, foi elaborada uma narrativa, contemplando o futuro da capacitação profissional do engenheiro com a colaboração de aplicação de IA, como segue:

*“X trabalha há mais de 3 anos para a indústria Z, desde que obteve sua graduação em engenharia. X é dinâmico, resiliente, flexível e sabe definir problemas, estruturando-os num contexto técnico-operacional. X está consciente de que o mundo do trabalho está mudando e quer desenvolver competências para continuar realizando seus objetivos profissionais. Sua empresa está implementando um projeto de capacitação continuada para lidar com os desafios de transformação digital e automatização de atividades.*

*Como membro da equipe deste projeto foi atribuída a X a tarefa de desenvolvimento e manufatura de novo produto. Seu desafio é tomar decisões a respeito de novo tipo de material para produzir o produto RRR para o cliente FFF.*

*X está entusiasmado! Foi-lhe dado um Assistente Pessoal Inteligente (API) para apoiá-lo no treinamento e execução da tarefa. Enquanto X pensava sobre a melhor maneira de iniciar a interação com API, sussurrou "fazer uma busca de produto similar a RRR" ele ouviu uma voz sintetizada: "Bom dia Sr. X! Aqui está o design, lista e tipo de material". X toca a tela apontando para a tampa superior e inferior do cilindro, dizendo que está particularmente preocupado com a condutividade térmica e elasticidade do material. Depois de selecionar o intervalo de parâmetros, API fornece-lhe 3 opções de novos materiais para desenvolvimento do produto RRR. Adicionalmente, oferece um vídeo com desempenho de teste em produtos similares e respectivos fornecedores.*

---

<sup>39</sup> Modelo de comunicação através do qual se conta uma história que possibilita a articulação de informações em um determinado contexto e com um fim desejado.

*Ao selecionar a opção “simulação”, X pode explorar os recursos oferecidos pelas tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada. Selecionando a opção “protótipo 3D”, X obtém insights sobre resistência do material e manuseio do produto. API avverte-o quanto ao procedimento correto de segurar e girar o produto. O próximo passo é simular, via Realidade Aumentada, a qualidade de montagem do produto final, principalmente inspecionando as lacunas entre a parte superior, o cilindro e o prendedor. Para verificar as implicações no processo de fabricação, X solicita a colaboração de Y, seu colega. API exibe a projeção holográfica da planta de manufatura e X compartilha as informações que obteve do API com Y. Olha para câmera e pergunta: "alguma restrição quanto ao processo de fabricação e disponibilidade do robô de montagem para cumprirmos o deadline"? "Prazo final para decisão até 03 p.m. ".*

*Ao avaliar seu desempenho nesta tarefa com a assistência de API - sabendo que seu perfil atualizado lhe permitirá assumir mais responsabilidades em próximos projetos - ele sorriu e disse "gosto da colaboração de máquinas inteligentes!"*

## **CAPÍTULO 4. CONCLUSÕES**

Vivemos a era da Quarta Revolução Industrial, conhecida como Indústria 4.0, que engloba avanços nas áreas de automação, sensores, inteligência artificial, tecnologias de informação e comunicação. No contexto econômico atual, o progresso exponencial das tecnologias digitais emergentes gera desafios para as pessoas, empresas e sociedade. Indústria 4.0 abrange o conjunto de processos tecnológicos, econômicos, sociais e está tornando o mundo cada vez mais interconectado e interdependente. Fábrica Digital é um conceito ligado à Indústria 4.0. Representa um modelo virtual da fábrica real, com capacidade de processar engenharia de *design*, modelos digitais e simulação 3D para modelagem de produto, prototipagem virtual, teste, planejamento e execução da produção. Indústria 4.0 e Fábrica Digital vêm atraindo atenção mundial com a emergência do modelo de customização em massa, que possibilita atender desejos individualizados do cliente desde a concepção, passando pelo pedido, desenvolvimento, manufatura, entrega e reciclagem do produto. A base para isso é produção eficiente, flexível, descentralizada e acesso a informação relevante em tempo real obtido por meio de elevada conectividade entre pessoas, objetos e sistemas.

Indústria 4.0 tem potencial para impactar positivamente os negócios, a economia e a sociedade se tomadores de decisão compreenderem profundamente seus conceitos, de

modo a mobilizarem esforços e recursos condizentes com o modelo e porte do negócio, para transformar ideias em execução e gerar resultados. Espera-se que Indústria 4.0 crie valor diferenciado nas práticas de engenharia, manufatura e serviços em termos de produtividade, qualidade e flexibilidade pela fusão de sistemas digitais e físicos, com integração de máquinas, humanos e objetos. Enquanto trabalhadores menos qualificados têm suas atividades totalmente automatizadas e vêm sendo substituídos por máquinas e algoritmos de inteligência artificial, a necessidade de graduados em engenharia com domínio de competências para atuar neste novo ambiente de trabalho aumentará.

No que concerne à formação de engenheiros no Brasil ressalta-se a homologação das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para os cursos de graduação em engenharia no ano de 2019. As Novas DCNs de engenharia enfatizam a formação humanística e empreendedora do engenheiro, com vistas a desenvolver competências para tornar os profissionais de engenharia aptos para atender às expectativas, necessidades e comportamentos do cliente, sociedade e mercado. Considerando que pela primeira vez uma revolução industrial é vista como tendência tem-se então a oportunidade de pensar, planejar e realizar ações para moldar a capacitação em engenharia.

Entrevista com dirigentes da Escola de Química e Escola Politécnica, suportada pela aplicação do modelo de competência 4.0 desenvolvida por Prifti et al. (2017) e uso da abordagem GRADE para qualificação de evidências das competências mostrou-se método eficaz para aferir a influência das Novas DCNs no desenvolvimento de competências comportamentais do estudante de engenharia para atuação na Indústria 4.0.

Evidenciou-se por meio deste estudo que um dos principais desafios para gerar valor com a implantação das Novas DCNs diz respeito à mudança de mentalidade de dirigentes, docentes e toda a comunidade acadêmica das escolas de engenharia, de forma a proporcionar competências comportamentais, além daquelas de cunho técnico.

A evolução tecnológica é exponencial e cabe a cada um dos envolvidos ter agilidade no delineamento e criação de perspectivas e oportunidades de capacitação profissional de modo a evidenciar o papel do ser humano nas novas formas e ambientes de trabalho. Proporcionar capacitação comportamental na formação de futuros engenheiros vai nessa direção! O engajamento em transformação digital desafia os responsáveis por tomadas de decisão a estabelecerem uma visão clara das oportunidades propiciadas pelas tecnologias digitais e aplicações de IA em favor da competitividade de seu negócio. Daí, devem liderar sua equipe no desenvolvimento de projetos pilotos para reconfigurar o

ambiente de trabalho, a relação com clientes, fornecedores, parceiros e, gradativamente, escalar a implementação até abranger todos os setores da empresa.

Os resultados da pesquisa empírica apontados nesta tese possibilitaram sugerir ferramenta (Quadro 14) para apoiar os cursos de graduação em engenharia da Escola de Química e Escola Politécnica na criação de estratégias para desenvolvimento de competências comportamentais no curto prazo (1 período letivo) e médio prazo (2 períodos letivos). Adicionalmente, a categorização das competências comportamentais em grupos de acordo com a qualidade de evidência - “Moderada”, “baixa” ou “não identificada” - levou às seguintes recomendações:

1. Competências comportamentais com evidências qualificadas como “Moderada” apresentam potencial de serem desenvolvidas a curto prazo (1 semestre letivo), se *recursos* (conhecimento acumulado, talento e experiência de docentes); *processos* (capacidade de infraestrutura, laboratórios, pesquisa) e *valores* (aprendizado do aluno como prioridade) forem mobilizados.

Recomendações para o desenvolvimento das competências:

- Suporte e Cooperação: ampliação de redes de relacionamento e alianças podem propiciar vivência dos estudantes em projetos de colaboração, sob a orientação de docentes com apoio e *feedback* de profissionais de engenharia representantes da rede.
- Análise e Interpretação: assimilação e aplicação de tecnologias digitais emergentes sob direcionamento do docente podem escalar oportunidades para solução de problemas complexos demandados pelas empresas e pela sociedade preparando os estudantes para atuar na Indústria 4.0.
- Criatividade e Conceituação: requer desenho curricular que propicie interdisciplinaridade e atividades *hands-on*, instigar a curiosidade para testar possibilidades; elaborar *design* de tecnologias, detalhar execução para produtos/processos inovadores e assim atender demandas da sociedade/clientes.
- Adaptação e Resiliência: podem ser desenvolvidas por meio de integração do estudante em times de projetos globais e interdisciplinares, incluindo estudantes de cursos de áreas sociais e humanas, além da área de exatas.

2. Competências comportamentais com evidências qualificadas como “Baixa” demandam prospecção de parceiros externos complementares que possam colaborar no desenvolvimento das competências.

- Interação e Apresentação: a ampliação de parcerias do ambiente acadêmico com profissionais de empresas pode, adicionalmente, propiciar oportunidades para adquirir/aperfeiçoar habilidades de comunicação oral/escrita, defender argumentos/pontos de vistas com assertividade.
- Organização e Execução: para que o aluno seja protagonista de seu processo de aprendizagem, deve-se estimular sua autoconfiança e oferecer atividades em que possa treinar priorização de demandas e entrega de solução no prazo.
- Liderança e Decisão: o aluno deve desenvolver atividades que o permitam aprender a lidar com a diversidade do ser humano, entender seus anseios, suas emoções, tomar iniciativas, ter oportunidade de ensinar e debater o que aprende, além de assumir responsabilidades e fazer as coisas acontecerem.

Depreende-se, assim, que o sucesso na implantação das Novas DCNs no desenvolvimento de competências comportamentais dos estudantes de engenharia para Indústria 4.0 depende, principalmente, do talento docente para desenhar atividades, estimular o estudante, fornecer *feedbacks* de melhoria e assim impulsionar experiências relevantes para a formação dos futuros engenheiros.

3. Não foi encontrada evidência de ações da Escola de Química e Escola Politécnica para planejar e implementar ações em projetos pedagógicos de seus cursos para desenvolvimento de competências referentes a empreendedorismo e desempenho.

Dentre as características do empreendedor destacam-se, dentre outras: gerar ideias, explorar oportunidades, ser dedicado, determinado, líder, formador de equipe, bem relacionado, organizado, saber planejar, prototipar e implementar novos modelos de negócios, correr riscos, tomar decisões e criar valor para a sociedade. Adicionalmente, um empreendedor deve saber formar relacionamentos com parceiros complementares, catalizar resultados corretos e realizar automonitoramento, fazendo registros de seu aprendizado. Portanto, as sugestões para desenvolver as competências comportamentais discutidas nesta tese podem contribuir para preparar o engenheiro para empreender.

No que diz respeito às ações da Escola de Química e da Escola Politécnica relativas a planejamento e gestão para implantação das Novas DCNs, conclui-se:

- Foram elaboradas declaração de intenções para testar metodologias inovadoras em algumas disciplinas e envolver docentes na discussão sobre reformas curriculares e alteração dos Projetos Pedagógicos dos cursos.
- Não se constatou estabelecimento de estratégias para o desenvolvimento de competências, ou mesmo a criação de um plano de comunicação para monitoramento do progresso das ações no curto e médio prazo.
- Não foi possível identificar ações quanto ao desenvolvimento de estratégia e gestão do processo de aprendizagem dos estudantes de engenharia.
- Não foi formada equipe responsável pela implementação das Novas DCNs de engenharia bem como não há plano de metas nem cronograma.

Recomenda-se tratar o desafio da implementação das novas DCNs de engenharia, como um projeto, o que pode trazer benefícios para os envolvidos. A elaboração de plano de ação detalhando escopo, responsáveis pelas ações, metas, estimativa de prazo final de execução de cada ação, criação de pontos de controle para acompanhamento dos resultados poderá trazer maior agilidade na tomada de decisões e na correção de rumos.

Adicionalmente, buscou-se, nesta tese, perscrutar o futuro da profissionalização de engenheiros para atuação na Indústria 4.0 no Brasil.

Vivência da autora no Instituto Fraunhofer de Sistemas de Produção e Tecnologia de *Design* (Fraunhofer IPK, em Berlim), na divisão criação virtual de produtos e no departamento de engenharia baseada em modelos foi instrumental para pensar sobre o futuro da capacitação continuada do engenheiro e criar um modelo para colaboração entre engenheiro e máquina com aplicação de inteligência artificial para desenvolvimento de competências comportamentais. Aplicação da técnica *Design Thinking* mostrou-se um método eficaz para apresentar e discutir ideias relativas ao desenvolvimento de competências profissionais do engenheiro com a equipe do projeto de pesquisa “*workplace of the future*” do IPK.

Aplicação do modelo de pensamento crítico Paul e Elder (2002) e do *checklist* Paul e Elder (2006) mostraram-se métodos convenientes para modelar o treinamento de IA pelo engenheiro. Enquanto IA se encarrega da busca e processamento de informações, geração de opções, realização de testes, simulações e protótipos com rapidez e precisão, o engenheiro realiza tarefas de nível mais elevado e importância, como delimitar problemas, desenvolver estratégias, realizar análise crítica e tomar decisões.

Adaptação de modelagem para treinamento de IA ao modelo de fluxo de informações na interação humano-máquina de Riley (1989) mostrou-se decisiva para proposição do modelo de colaboração engenheiro-máquina, abrangendo 3 *loops*: interação engenheiro-contexto; interação máquina-contexto e interação engenheiro-máquina; considerando contexto, nesta tese, como o uso de tecnologias e interfaces inteligentes de linguagem natural, rastreamento de gestos e reconhecimento de imagens utilizadas para comunicação entre engenheiro e aplicação de IA.

É desafiadora a perspectiva de trabalho do engenheiro executando tarefas em colaboração com IA em ambientes virtuais. Dentre os aspectos favoráveis desta relação destaca-se o potencial de elevar a produtividade do engenheiro na execução de tarefas e propiciar tempo livre para que ele possa fazer uso de seu pensamento criativo, formular estratégias, empoderando-o para atividades inovadoras intrinsecamente humanas e voltadas para o empreendedorismo.

É tempo de pesquisar, refletir, criar, disseminar, trocar ideias nos mais variados fóruns quanto a perspectivas de implementação da parceria entre profissionais e aplicações de inteligência artificial.

Por fim fez-se uso do *storytelling* para criação de narrativa de cenário representando o engenheiro em seu local de trabalho no futuro, desenvolvendo competências enquanto executa tarefas em colaboração com IA. Há algum tempo, tal cenário seria enquadrado no gênero ficção científica, o que não se aplica aos dias atuais.

Sugestão de trabalhos futuros referentes ao modelo de colaboração engenheiro-máquina com aplicação de IA:

- Modelagem cognitiva de outros profissionais além do engenheiro.
- Criar protótipo.
- Realizar teste de usabilidade e implementar o modelo.

## REFERÊNCIAS

ABBASS, A., PETRAKI, E., MERRICK, K. Trusted Autonomy and Cognitive Cyber Symbiosis: Open Challenges. **Cognitive Computation** 8, 385–408 (2016).  
<https://doi.org/10.1007/s12559-015-9365-5>.

ABOWD, D., DEY, A. BROWN, J., DAVIES, N., SMITH, M., STEGGLES, P. (1999). **Towards a better understanding of context and context-awareness**. In International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (pp. 304-307). Springer, Berlin.

ACATECH, FRAUNHOFER IML e EQUERO GmbH. (2016).  
**Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0**.

ACATECH. Innovation potential of human-machine interaction. (Ed.):  
**Innovationspotenziale der Mensch-Maschine-Interaktion** (acatech IMPULSE),  
 Munich: Herbert Utz Verlag 2016.

ACCENTURE. **Digital Factory**: cracking the code to success. (2016).

ACCENTURE. **Digital Factory**: innovation on an industrial scale. (2020).

ACCENTURE. **Process Reimagined**: together, people and AI are reinventing business processes from the ground up. (2018).

AGGARWAL, C. **Neural Networks and Deep Learning**. Springer, 2018.  
 Doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0.1

ANSARI, F., EROL, S., SIHN, W. *Rethinking Human-Machine Learning in Industry 4.0: How Does the Paradigm Shift Treat the Role of Human Learning?* (2018). Paper presented at Conference on Learning Factories, Patras, Greece.

ANTON-HARO, C., DOHLER, M. **Machine-to-Machine (M2M) Communications: Architecture, Performance and Applications**. (2015) Cambridge: Woodhead Publishing, Limited.

AZUMA, R. **Survey of Augmented Reality**. *Presence*, vol 6, No. 4, August 1997,355-385. Massachusetts institute of technology.

BAHCECI, E. **Discussion of Human-Computer Interaction and its relevance to Natural Language Processing in the context of IPAs**. (2016).

BARAB, ROTH (2006). **Curriculum-based ecosystem. Educational Researcher**, Vol. 35, No. 5, pp. 3–13. DOI: 10.3102/0013189X035005003.

BARTRAM, D. (2012). **The SHL Universal Competency Framework**.

BARTRAM, D. The great eight competencies: a criterion-centric approach to validation. **Journal of Applied Psychology** 90, 1185–1203 (2005).

BARTRAM, D., ROBERTSON, I.T., CALLINAN, M.: Introduction. A framework for examining organizational effectiveness. In: Robertson, I.T., Callninan, M., Bartram, D. (eds.) **Organizational Effectiveness. The Role of Psychology**, pp. 1-10. John Wiley & Sons, Baffins Lane, Chicheser, UK (2002).

BAUER, W; WALTERGANZ; HAMMERLE, M; RENNER, T. **Kunsliche Inteligenz in der Unternehmenpraxis**. 2019.

BLEY, H e FRANKE, C. Integrating Product Model and Production Model in the Digital Factory. *Werkstallstechnik*, 2001. Vol 91 h4, pp. 214-220.

BMW. **Shaping the Digital Transformation Within Companies** – Examples and Recommendations for Action Regarding Basic and Further Training. 2017. Berlin. Germany.

BORING, E. **Intelligence as the Tests Test It**. *New Republic* 36 (1923): 35-37.

BOYATZIS, R. **The Competent Manager**. A Model for Effective Performance, John Wiley & Sons, New York, NY(1982).

BRACHT, U; MECKLER, D; WENZEL, S. **Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele**. Springer (2011). DOI 10.1007/978-3-540-88973-1.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. **Resolução nº 11, de 11 de março de 2002**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Brasília: Ministério da Educação, 2002 Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>. Acesso em 17 de setembro de 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. **Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes

Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. 2019. Brasília: Ministério da Educação, 2019. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=112681-rces002-19&category\\_slug=abril-2019-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=112681-rces002-19&category_slug=abril-2019-pdf&Itemid=30192). Acesso em 17 de setembro de 2020.

BROWN, T. **Design Thinking**. Uma Metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. Elsevier; 1ª edição 2010.

BROY, M. (2010). Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme. In M. Broy (Ed.), *Cyber-Physical Systems*. Berlin Springer.

BRÜHL, V. (2015). *Industrie 4.0 Wirtschaft des 21. Jahrhunderts: Herausforderungen in der Hightech-Ökonomie* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

CIMPEANU, M., FINTINERU, G., BECIU, S., RAD, C.-R., HANCU, O., TAKACS, I., OLTEANU, G. (2015). *Life for Agriculture Smart Monitoring of Potato Crop: A Cyber-Physical System Architecture Model in the Field of Precision Agriculture*. Paper presented at the Conference Agriculture for Life, Bucharest.

CLARK, A; FOX, C; LAPPIN, S. **The Handbook of Computational Linguistics and Natural Language Processing**. Wiley-Blackwell. 2010. DOI: 10.1002/9781444324044.

CRESWEL, J. W. **Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DALE, R. **The return of the chatbots**. *Natural Language Engineering* 22, 5 (2016), 811–817.

SONNTAG, D. **Intelligent User Interface**. (2015. German Research Centre for Artificial Intelligence (DFKI).

DAUGHERTY, PAUL R. and WILSON, H.J. **Human + Machine: Reimagining Work in the Age of AI**. Boston: Harvard Business Review Press. 2018.

DFKI, 2011. In: *Industrie 4.0- Smart Manufacturing for the Future*.

DIGNUM, V; DIGNUM, F. Agents are Dead. Long live Agents! AAMAS 2020, May, 9-13, Auckland, New Zealand.

DOMBROWSKI, U; TIEDEMAN, H; BOTHE, T. Visionen für die Digitale Fabrik. **Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb** 96 (3): 96-100. (2001). DOI: 10.3139/104.100386.

EDWARDS, L; VEALE, M. Slave to the Algorithm? Why a “Rigth to an Explanation” is probably not the remedy you are looking for. **Duke Law and Technology Review** 18, 2017.

EHLERT, P. February 2003. **Intelligent User Interface**. Research Report. Delf University of Technology. TU Delf. Department of Information Technology and Systems. The Netherlands.

ENGELBART, D; ENGLISH, B. "Display-Selection Techniques for Text Manipulation". Stanford MouseSite. Stanford University, 1968.

Ertel, W. **Introduction to Artificial Intelligence**. (2017). Springer, 2nd edition. Switzerland.

FARROQ, U; GRUDIN, J. Human-Computer Integration. *Interactions*. (2016). DOI: 10.1145/3001896.

FERGUSON, A. (1956). On transfer and the abilities of man. **Canadian Journal of Psychology**. *Revue canadienne de psychologie*, 10(3), 121–131. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/h0083676>. Acesso em: 15 abril 2020.

FLOERCHINGER, F.; SCHMITT, M. A Concept for a user-friendly first Communication Initiation between Stationary Field Devices and Mobile Interaction Devices. **IFAC Proceedings Volumes**. Volume 44, Issue 1, 2011, 1614-1619.

FORD, M. **Architects of Intelligence**: The truth about AI from the people building it (2018). Packt Publishing Limited.

FRANK, E.: The UK's Management Charter Initiative: the first three years. **Journal of European Industrial Training** 17, 9-11 (1991).

GARDNER, H. **Frames of Mind**: The theory of Multiple Intelligences. 2006. New York: Basic Press.

GEBHARDT, J., GRIMM, A., e NEUGEBAUER, M. (2015). Developments 4.0 Prospects on Future Requirements and Impacts on Work and Vocational Education *Journal of Technical Education*, 3(2), 117-133.

GEISBERGER, E.; BROY, M. (2012). *Agenda CPS, Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*.

GENÇAY, E; COSKUN, S; KAYIKCI, Y. Adapting engineering education to Industry 4.0 Vision. **Technologies**, 7, 10 2019.

GIL, A. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 ed. São Paulo. Atlas, 2008.

GLANZ, A., BÜSGEN, M. (2013). **Machine-to-Machine-Kommunikation**. Germany: Campus Verlag.

GOLEMAN, D. **Emotional intelligence: Why it can matter more than IQ**. New York: Bantam. 1995.

GORECKY, D; MEIXNER, G. **Seamless Augmented Reality Support on the Shopfloor based on Cyber-Physical-Systems**. (2012). In Procedures of the 14 Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI), San Francisco, CA, United States.

GORECKY, D; SCHMITT, M; LOSKYLL, M; ZÜHLKE, D. **Human-Machine-Interaction in the Industry 4.0 Era**. 2014.

GREGOR, M; MEDVECKY, S. **Digital factory: theory and practice**. 2006. DOI: 10.5772/10380.

GUYATT, H; OXMAN, D; Vist, E; KUNZ, R; BROZEK, J; ALONSO, C. **GRADE guidelines: 4. Rating the quality of evidence—study limitations (risk of bias)**. *J Clin Epidemiol* 2011;64:407–15.

HECKLAU, F. KIDSCHUN, F; ORTH, R; KOHL, H. Human Resources Management: Meta-Study - Analysis of Future Competences in Industry 4.0. Project: EPIC – **Excellence Center for Production Informatics Control**. December 2017.  
HEFT, H., 2015. Human Cognition, Evolution of. In: James D. Wright (editor-in-chief), **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**, 2nd edition, Vol 11. Oxford: Elsevier. pp. 252–258. ISBN: 9780080970868.

HERMANN, M, PENTEK, T, OTTO, B. **Design Principles for Industry 4.0 Scenarios: A Literature Review**; 2015.

HIS-PENG, L; CHIEN-I, W. Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry. **Technological Forecasting & Social Change** 133 (2018) 85–94.

HOERNICKE, M; HORCH, A; BAUER, M. **Industry contribution to control engineering education: An experience of teaching of undergraduate and postgraduate courses**. IFAC Papers online 50-2 (2017) 133–138.

HOLVIKIVI, J. **Logical Reasoning Ability in Engineering Students: A Case**. IEEE Transactions on education, Vol. 50, No. 4, November 2007 367.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, (2015). Disponível em: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/industrie40.html>. Acesso em: 20 março 2020

ISO 13407 **Human-Centred Design process for interactive systems**. International Organization for Standardization, Switzerland, 1999.

ISO 9241. **Ergonomics of human system interaction**. Human-centred design for interactive systems. International Organization for Standardization, Switzerland, 2011.

JAQUERO, V; MONTERO, J; MOLINA, J.; GONZÁLEZ, P. **Intelligent User Interfaces: Past, Present and Future**. 2008 DOI: 10.1007/978-1-84800-136-7.

JOE J, O'HARA J, MEDEMA H, OXSTRAND J. Identifying requirements for effective human-automation teamwork. In: **Proceedings of the 12th international conference on probabilistic safety assessment and management (PSAM 12, Paper 371)**, 2014.

JOHNSON, M., BRADSHAW, J., FELTOVICH, J.: Tomorrow's human-machine design tools: from levels of automation to interdependencies. **Journal Cognitive Engineering Decision Making** 12, 77–82 (2017).

JURAFSKY, D; MARTIN, J. **Speech and Language Processing: An introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics and Speech Recognition**. Prentice Hall. (2019).

KAGERMANN, H., LUKAS, W. D., e WAHLSTER, W. **Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution.** (2011).

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J. **Securing the Future of German Manufacturing Industrie** - Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 - Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. (2013).

KAUFMANN, T. *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit.* (2015). Wiesbaden: Springer-Verlag.

KELLY, J; HAMM, S. **Smart Machines: IBM's Watson and the Era of Cognitive Computing.** (2013)Engineering. DOI: 10.5860/52-0318.

KLEINDAUER, R., BERKOVICH, M., GELVIN, R., LEIMEISTER, J.M., KRCDMAR, H.: **Towards a competency model for requirements analysts** 395 1.2. Information System Jornal, 475-503. 2012.

KLEMP, G. **The Assessment of Occupational Competence.** Report. Nat. Inst. of Edu. (1980).

KOENIG, N; MATARIC, N. Robot life-long task learning from human demonstrations: a Bayesian approach. (2017). **Autonomous Robot**, 41 (5). Springer. DOI: 10.1007/s10514-016-9601-1.

KOLB, D. **Experiential Learning as the Science of Learning and Development;** Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ, USA, 1984.

KOLB, D. Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning In Higher Education. **Academy of Management Learning & Education.** Vol. 4, N° 2, 2005, pp.193-212

KUEHN, W. Digital Factory. **International Journal of Simulation**, Vol. 7. 2007.

KÜHN, W. **Digital Factory.** Simulation Enhancing the Product and Production Engineering Process. Proceedings of the Winter Simulation Conference. 2006.  
LAANPERE, M; ERADZE, M. Interrelation between pedagogical design and learning interaction patterns in different virtual learning environments. (2014). In: Learning and Collaboration Technologies. Technology-Rich Environments for Learning and Collaboration, Springer.

LASI, H., FETTKE, P., KEMPER, H.-G., FELD, T., HOFFMANN, M. (2014). **Industrie 4.0**. *Wirtschaftsinformatik*, 56(4), 261-264.

LAUER, T.; WELSCH, R; ABBAS, S.; HENKE, M. **Behavioral Analysis of Human-Machine Interaction in the Context of Demand Planning Decisions**. T. Ahram (Ed.): AHFE 2019, AISC 965, pp. 130–141, 2020.

LEE, J.; BAGHERI, B; KAO, H. **A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**. *Manufacturing Letters* 3 (2014) 18–23 19.

LEE, Kay Fu. **AI Superpowers** – China, Silicon Valley, and the New Worlds. Houghton Mifflin Harcourt. 2018.

LEVINE, S; SERMANE, P. **Teaching Robots to Understand Semantic Concepts**, 2017, Disponível em: <https://research.googleblog.com/2017/07/teaching-robots-to-understand-semantic.html>, Acesso em: 19.02.2018.

LIEBERMAN, H. **An Agent That Assists Web Browsing**. In Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), pp. 924-929, Montreal, Canada, 1995. Morgan Kaufmann publishers Inc.: San Mateo, CA, USA.

LUCKIN, R., HOLMES, W., GRIFFITHS, M. FORCIER, L. (2016). **Intelligence Unleashed**. An argument for AI in Education. London: Pearson.

LÜDER, A. (2014). **Integration des Menschen in Szenarien der Industrie 4.0**. In T. Bauernhansl, M. Ten Hompel, & B. Vogel-Heuser (Eds.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung· Technologien· Migration* (pp. 493-507): Springer-Verlag Online.

MAES, P. **Direct Manipulation vs. Interface Agents: A Debate Interactions**, 4, Number 6, ACM Press, 1997.

MAGOULAS, G.; POULOVASSILIS, A; HARRIS, M; LEVENE, M. **Artificial Intelligence in Education and Work**. 2019.  
MÄLKKI, H; PAATERO, J. Curriculum planning in energy engineering education. *Journal of Cleaner Production*. 106 (2015) 292e299.

MARCZINSKI, G. (2006): **Zur Bedeutung der Digitalen Fabrik**. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 101 (4), S. 218-221.

MARKUS, L., COOPER-THOMAS, D., ALLPRESS, N.: Confounded by Competencies? **New Zealand Journal of Psychology** 34, 117-126 (2005).

MATTERN, F; FLÖRKEMEIER, C. (2010). **Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge**. Informatik-Spektrum, 33(2), 107-121.

MAYER-SCHONBERGER, V; CUKIER, K. Big Data: A Revolution That will Transform How we Live, Work, and Think. (2014). Houghton Mifflin Harcourt, Boston, Massachusetts.

MCCLELLAND, D. Testing for Competence Rather than for Intelligence. **America Psychologist** 28, (1973).

MCKINSEY. **Welcome to the Digital Factory**: the answer to how to scale your digital transformation. (2020).

MCMASTERS, J.; KOMERATH, N. **Boeing-University Relations** - A Review and Prospects for the Future. Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. Copyright ASEE 2005.

MCMASTERS, J.H. and MATSCH, L.M. **Desired Attributes of an Engineering Graduate** – An Industry perspective, AIAA 96-2241, New Orleans, LA, June 17-20, 1996.

MILLER, T. **Explanation in artificial intelligence**: Insights from the social sciences. *Artificial Intelligence* 267 (2019): 1–38.

MILLER, L. **Managerial competences**. *Industrial and Commercial Training* 23, 11-15. 1991.

MINSKY, M. **The Society of Minds**. Simon & Schuster. New York, 1985.

MITCHEL, T. **Machine Learning**. McGraw-Hill, 1998.

MORIN, Edgar. **O Método 3: Conhecimento do Conhecimento**. 4ª ed, Sulina, 2008, Porto Alegre.

NAMBIAR, R; POESS, M. **Performance Evaluation and Benchmarking: Traditional to Big Data to Internet of Things.** 7<sup>TH</sup> TPC Technology Conference, TPCTC 2015, Kohala Coast, USA.

NEGROPONTE, N. **Being Digital.** Vintage books, Nueva York, NY, 1994.

NG, A. Machine Learning YEARNING. Technical Strategy for AI Engineerts, In the Era of Deep Learning (2017).

NIELSEN, J. **Usability engineering.** Morgan Kaufmann. ISBN 978-0-12-518406-9. Academic Press. 1993.

OBERMAIER, R. **Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe:** Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe. In R. Obermaier (Ed.), *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen.* (2016). (pp. 3-34). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

OCDE. **Computers and the Future of Skills Demand.** (2017). Educational Research and Innovation. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264284395-en>. Acesso em: 10 março 2020.

OCDE. **The Future of Education and Skills.** Education 2030. 2018. Paris, France. Disponível em: <http://www.oecd.org/education/2030/oecd-education-2030-position-paper.pdf>. Acesso em: 10 março 2020.

PAUL, R, ELDER, L. **The Thinker's Guide to Engineering Reasoning.** Foundation for Critical Thinking. 2006.

PAUL, R.; ELDER, L. **Critical Thinking: Tools for Taking Charge of Your Professional and Personal Life,** Prentice-Hall, Upper Saddle, NJ, 2002.

PAUL, R; ELDER, L.; NIEWOEHNER, R. **A Miniature Guide to Engineering Reasoning.** 2006.

POLSON, N; SCOTT, J. **AIQ: How artificial Intelligence works and how we can harness its power for a better world.** (2018). Batam Press.

POLYA, G. **How to solve it.** Princeton University Press. 2004.

PREECE, J et al. **Human-Computer Interaction**, Addison-Wesley, 1994.

PRIFTI, L. KNIGGE, M.; KIENEGGER, H.; KRCCMAR, H. **A Competency Model for Industrie 4.0 Employees**, in Leimeister, J.M.; Brenner, W. (Hrsg.): Proceedings der 13. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2017), St. Gallen, S. 46-60.

PwC. **Digital Factories 2020**: Shaping the future of manufacturing. 2017.  
RACHT, U; GECKLER, D; WENZEL, S. **Digitale Fabrik**. Methoden und Praxisbeispiele. DOI 10.1007/978-3-540-88973-1. Springer Heidelberg Dordrecht London.

RILEY, V. A General Model of Mixed-Initiative Human-Machine System. **Proceeding of the Human Factors Society**, 33<sup>rd</sup> Annual Meeting, 1989.

RICH, E, Knight, K. (1991). *Artificial Intelligence*: McGraw-Hill.

ROBINSON, S. (1950). Ecological correlations and the behavior of individuals. **American Sociological Review**, 15, 351–357.

ROLAND BERGER. **Digital Factories**: The renaissance of the U.S. automotive industry. 2016.

ROSENBLATT, F. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. **Psychological Review**, 65(6), 386 (1958) – 408. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/h0042519>. Acesso em: 20 março 2020.

ROTH, A. (2016). Industrie 4.0 – Hype oder Revolution? In A. Roth (Ed.), *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* (pp. 1-15). Berlin: Gabler Verlag.

RUSSEL, S. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.

RUSSEL, S. Rationality and Intelligence. **Artificial Intelligence**. Elsevier. 94 (1997) 57-77.

SABELLA, R. What is a cyber-physical system? 2018. Ericson. Disponível em: <https://www.ericsson.com/en/blog/2019/12/cyber-physical-systems-technology-trend>. Acesso em: 25 maio 2020.

SALOVEY, P.; MAYER, D. **Emotional intelligence**. Imagination, Cognition and Personality, (1990). 9, 185-221.

SAMUEL, L. Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers, in *IBM Journal of Research and Development*, vol. 3, no. 3, pp. 210-229, July 1959, doi: 10.1147/rd.33.0210.

SEISSLER, M; BREINER, K; SCHMITT, M; ASMELASH, S; KOELSCH, J. SmartMote: A Model-Based Architecture for Context-Sensitive User Interfaces in Future Factories. **Engineering Computer Science**. 2013. DOI:10.3182/20130811-5-US-2037.00044.

SELWYN, N. **Should Robots Replace Teachers?** Digital Futures. 2019. Wiley. ISBN. 1509528954 9781509528950.

SENDEREK, R; GEISLER, K. **Assistenzsysteme zur Lernunterstützung in der Industrie 4.0**. Proceedings of DeLFI Workshops 2015 co-located with 13th e-Learning Conference of the German Computer Society (DeLFI 2015) München, Germany.

SERMANET, P; LYNCH, C; HSU, J; LEVINE, S. Time-Contrastive Networks: Self-Supervised Learning from Multi-view Observation. Conference 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. DOI: 10.1109/CVPRW.2017.69.

SHARIATZADE, N; LUNDHOLM, T; LINDBERG, L; SIVERD, G. **Integration of digital factory with smart factory based on Internet of Things**. Procedia CIRP 50 (2016) 512 – 517.

SHARP, H.; PREECE, J.; ROGERS Y. **Interaction Design**. Beyond Human-Computer Interaction. 2nd edition 2007. Wiley.

SONNTAG, D. Intelligent User Interfaces – a tutorial. DFKI. German Research Center for Artificial Intelligence. 2015.

SPENCER, L., SPENCER, S. **Competence at Work: Model for Superior Performance**. John Wiley & Sons, New York (1993).

STEF, I; DRAGHICI, A. **Product design process model in the Digital Factory context**. Procedia Technology 9 (2013) 451 – 462.

STOCK, T; KOHL, H. **Perspectives for International Engineering Education**. 15th Global Conference on Sustainable Manufacturing. Procedia Manufacturing 21 (2018) 10–17.

STONE, P., BROOKS, R; BRYNJOLFSSON, E; CALO, R; ETZIONI, O; HAGER, G; HIRSCHBERG, J; KALYANAKRISHNAN, S; KAMAR, E; KRAUS, S; LEYTON-BROWN, K; PARKES, D; PRESS, W; SAXENIAN, A; SHAH, J; TAMBE, M; TELLER, M. "Artificial Intelligence and Life in 2030." One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015-2016 Study Panel, Stanford University, Stanford, CA, Disponível em: <http://ai100.stanford.edu/2016-report>. Acesso em: 25 maio 2020.

STRAKA, G. Measurement and evaluation of competence. Report, Cedefop (2004).

SYCARA K, LEWIS M. **Integrating intelligent agents into human teams**. In: Salas E, Fiore S, editors. Team cognition: process and performance at the inter and intra-individual level. Washington: American Psychological Association; 2004.

SYCARA K, SUKTHANKAR G. **Literature review of teamwork models**. Pittsburgh: Robotics Institute, Carnegie Mellon University; 2006. p. 31.

ULLRICH, C., AUST, M., DIETRICH, M., HERBIG, N., IGEL, C., KREGGENFELD, N., PRINZ, C., RABER, F., SCHWANTZER, S., & SULZMANN, F. APPsist Statusbericht: Realisierung einer Plattform für Assistenz- und Wissensdienste für die Industrie 4.0. In Raphael Zender (Hrsg.): Proceedings of DeLFI Workshops 2016 co-located with 14th e-Learning Conference of the German Computer Society (DeLFI 2016) Potsdam, Germany, September 11, 2016 174

UNESCO (2010) **Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development**. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/science-technology/engineering/engineering-education/unesco-engineering-report/>. Acesso em: 20 março 2020.

UNESCO. **Artificial Intelligence in Education: challenges and Opportunities for Sustainable Development**. 2019.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE – VDI. **VDI 4499: Blatt 1/Part 1- Digitale Fabrik Grundlagen**. Düsseldorf: VDI, 2008. 52 p.

WATANABE, F; ANTONIALLI, A; VENTURA, C; PAZIANI, F; ARAUJO, L; SHIKI, S; FRANCO, V. As Novas DCNs de Engenharia: Desafios, Oportunidades e Proposições. Congresso de Ensino de Graduação. CONEGRAD UFSCAR, 2019.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution**. 2018. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs>. Acesso em: 22 abril 2020.

WEIZENBAUM, J. Computational Linguistics. **Communications of the ACM**. Volume 9, N 1 (1966).

WENZEL, S.; HELLMANN, A.; JESSEN, U. (2003): e-Services – a Part of the Digital Factory. In: Bley, H. (Hrsg.): Proceedings of the 36<sup>th</sup> CIRP International Seminar on Manufacturing Systems.

WESTKÄMPER, E; LUCKE, D; CONSTANTINESCU, C. **Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing**. In: Mitsuishi M., Ueda K., Kimura F. (eds) Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-84800-267-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-84800-267-8_2).

WEYER, S., SCHMITT M., OHMER M., GORECK D. (2015). Towards Industry 4.0 – Standardization as the crucial challenge for highly modular multi-vendor production systems. IFAC Papers on Line 48(3), 579–584.

WIENDAHL, H. **Virtual Factory Design** – A new tool for a co-operative planning approach. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 16 (7): 535-540. DOI: 10.1080/0951192031000115868 (2002) Fábrica digital

WORLD ECONOMIC FORUM. The future of jobs: employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution. Global Insight Report. 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. Towards a reskilling revolution: a future of jobs for all. In collaboration with The Boston Consulting Group. Insight Report. 2018.

YAN, T., CEMPINI, M., ODDO, C. M., VITIELLO, N. (2015). Review of assistive strategies in powered lower-limb orthoses and exoskeletons. Robotics and Autonomous Systems, 64, 120–136.

ZAMFIRESCU, C; PIRVU, J. SCHLICK; D. ZÜHLKE. **Preliminary insides for an anthropocentric cyber-physical reference architecture of the smart factory**. Studies in Informatics and Control Vol. 22 No. 3, 2011.

ZHENG, N; LIU, Z; REN, P; MA, Y; Chen, S; Yu, S; Xue, J; CHEN, Ba; WANG, F. **Hybridaugmented intelligence: collaboration and cognition**. Frontier Information Technology Electronic Engineering. 18, 153–179 (2017).

## ANEXOS

### ANEXO 1: Roteiro estruturado para entrevista e termo de consentimento

Questões que fundamentaram as Novas DCNs de Engenharia
De acordo com as DCNs de engenharia a formação do engenheiro deve ser vista como processos:
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Desenvolvimento de competências - o que haveria de mudar no currículo dos cursos?</li> <li>● Metodologias inovadoras – que metodologias poderiam ser usadas para formar estes profissionais?</li> <li>● Indução de políticas institucionais inovadoras – quais seriam estas políticas?</li> <li>● Ênfase na gestão do processo de aprendizagem. Quais estratégias de aprendizagem poderiam ser realizadas?</li> <li>● Fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações. Como você estrutura seu portfólio de alianças? Com quais parceiros você deveria trabalhar? Que parcerias você formou? Planeja ampliar seus relacionamentos ao longo dos próximos 3 meses? Como?</li> <li>● Como valorizar o corpo docente?</li> </ul>

Questões sobre a implementação das Novas DCNs
A implementação é um fator crítico no sucesso ou fracasso de uma política. Como a IES toma/pretende tomar decisões para implementação das DCNs de engenharia? Que iniciativas foram tomadas? Quais seriam os principais desafios? Quais os principais riscos? Como mitigá-los?
Você tem uma rotina para gestão de progresso da implantação das DCNs de engenharia? Em que consiste esta rotina? Que sistema de avaliação usa? Qual a frequência de interação com a equipe responsável pela implementação?
O que você deseja alcançar nos próximos meses? Quais são suas metas de curto prazo? Que caminho acha mais eficiente para atingir suas metas?
Qual é o objetivo (ou objetivos) principal (ais) para os próximos 6 meses? Qual o seu foco principal?
O que tem aprendido nos últimos meses?

Roteiro de entrevista - Questões (coluna 1); Oito Grandes categorias de competências e respectiva descrição (colunas 2 e 3).

Questões com orientação às Oito Grandes categorias de competências	Categoria Competência	Descrição
Como você estrutura seu portfólio de alianças? Com quais parceiros você deveria trabalhar? Que parcerias você formou? Planeja ampliar seus relacionamentos ao longo dos próximos 3 meses? Como?	<b>Suporte e Cooperação</b>	Apoia e demonstra respeito no trabalho com parceiros e equipes
	<b>Interação e Apresentação</b>	Comunica-se e influencia outros de forma confiante e eficaz.

<p>Quais são as principais implicações da Indústria 4.0/Inteligência Artificial na capacitação profissional do engenheiro? Quais as principais ações necessárias? Quem será responsável por estas ações?</p> <p>A interligação digital entre máquinas inteligentes, produtos e pessoas tem potencial de proporcionar grandes mudanças na atuação do engenheiro. Qual seria o perfil desejado dos profissionais de engenharia para atuar num ambiente inteligente?</p>	<p><b>Análise e Interpretação</b></p>	<p>Pensamento analítico para solução de problemas complexos e rapidamente assimila novas tecnologias.</p>
<p>Como a IES de engenharia poderia contribuir para formar um profissional capaz de “pensar de forma integrada”, integrando diversas áreas de expertise e assim poder desenvolver processos inovadores? Qual deveria ser o “dever de casa”?</p> <p>O que haveria de mudar no currículo dos cursos?</p>	<p><b>Criatividade e Conceituação</b></p>	<p>Lida com situações e problemas com inovação e criatividade. Pensa de forma ampla e estratégica e busca oportunidades de aprendizado.</p>
<p>Quais estratégias de aprendizagem poderão ser utilizadas?</p> <p>Que metodologias poderiam ser usadas para formar estes profissionais?</p> <p>Como valorizar o corpo docente?</p>	<p><b>Organização e Execução</b></p>	<p>É organizado e fornece serviço ou produto de qualidade para os padrões acordados.</p>
<p>Que tipo de estudantes são extremamente produtivos no início, mas propensos a logo deixar o curso? Como você descreveria o sucesso do estudante ao longo do curso de engenharia? O que isso lhe diz sobre suas habilidades, conhecimentos e talentos?</p>	<p><b>Adaptação e Resiliência</b></p>	<p>Adapta-se e responde bem à mudança e à pressão.</p>
<p>Recente pesquisa sobre aprendizado revela que os estudantes ficam na escola por mais tempo e aprendem mais se tiverem de dirigir e registrar seu progresso. Qual sua opinião? Como encorajar o estudante a monitorar o próprio aprendizado/desempenho ao longo do curso?</p>	<p><b>Empreendedorismo e Desempenho</b></p>	<p>Mostra compreensão de negócios, comércio e finanças. Busca oportunidades para o auto-desenvolvimento e avanço na carreira.</p>
	<p><b>Liderança e Tomada de Decisão</b></p>	<p>Assume o controle e exerce liderança. Inicia a ação, dá direção e assume a responsabilidade.</p>

## TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que aceito participar da pesquisa acadêmica realizada por Maria Ângela de Souza Fernandes, sob a orientação da Prof.<sup>a</sup> Dra. Adelaide Maria de Souza Antunes, desenvolvida como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Inovação, do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, com período sanduíche (PDSE CAPES) no Instituto Fraunhofer de Sistemas de Produção e Tecnologia de *Design* em Berlim, na Alemanha.

A pesquisa é instrumentalizada a partir de entrevista seguindo roteiro estruturado no contexto de implantação das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs de Engenharia) e tem por finalidade investigar potenciais competências para Indústria 4.0 a serem oferecidas na graduação em engenharia.

Declaro estar ciente de que a pesquisadora se compromete a utilizar as informações prestadas apenas para os propósitos da pesquisa.

Autorizo que meu nome seja divulgado nos resultados da pesquisa.

Rio de Janeiro, Março de 2020

---

Assinatura da Entrevistada

Nome da entrevistada: .....

Cargo/função: .....

IES de Engenharia: .....

---

Maria Ângela de Souza Fernandes

## ANEXO 2: Transcrição das entrevista

**Questões sobre os Argumentos para Novas DCNs de Engenharia**

De acordo com as DCNs de engenharia a formação do engenheiro deve ser vista como processos:

- Desenvolvimento de competências - o que haveria de mudar no currículo dos cursos?  
 Hoje acredito que a maioria dos cursos precise se adaptar a nova forma de pensar, usando conhecimentos adquiridos ao longo do curso aplicando suas habilidades. Seja no desenvolvimento de projetos integradores ou ações ao longo do curso que permitam este desenvolvimento.
- Metodologias inovadoras – que metodologias poderiam ser usadas para formar estes profissionais?  
 Metodologias ativas, projetos integradores, sala de aula invertida, uso de blogs, AVA, robótica, moodle, modelagem, vídeos, fóruns, resolução de problemas em grupo, oficinas, etc, são muitas as metodologias atuais que permitem uma reformulação na forma de ensinar e formar de modo distinto estes profissionais. Mantendo sempre a relação entre a prática e a teoria.
- Indução de políticas institucionais inovadoras – quais seriam estas políticas?  
 A meu ver a principal seria a de combate à retenção e à evasão, bem como o estímulo a inovação, com a formação e capacitação docente. Isso iria contribuir para melhoria do ensino e da aprendizagem na universidade.
- Ênfase na gestão do processo de aprendizagem. Quais estratégias de aprendizagem poderiam ser realizadas?
- Fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações. Como você estrutura seu portfólio de alianças? Com quais parceiros você deveria trabalhar? Que parcerias você formou? Planeja ampliar seus relacionamentos ao longo dos próximos 3 meses? Como?  
 Na verdade, o portfólio de alianças na universidade é feito através de projetos de pesquisa e da absorção de nossos alunos nas empresas parceiras. Estas veem na Universidade a oportunidade de divulgar seus processos de vagas e requisitam nossos alunos para completar seus quadros, seja de estagiários ou mesmo engenheiros. Um plano de ampliação seria importante, especificamente, em relação a alguns de nossos cursos, buscando mostrar o verdadeiro perfil de atuação de nossos profissionais. Esta tarefa hoje vem sendo planejada pela coordenação de estágios e após uma análise das empresas parceiras, poderemos vislumbrar atingir as que ainda não o são.
- Como valorizar o corpo docente?  
 Atribuindo principalmente valorização a nível profissional em relação a capacitação docente. Hoje somos medidos pelo que publicamos e produzimos e a dedicação ao ensino de graduação importa muito pouco sob este aspecto. Assim em sua progressão e promoção docente, este deveria ser mais valorizado em relação a sua preocupação com a graduação, e isso inclui maior capacitação.

<b>Questões no contexto da implementação das Novas DCNs de engenharia</b>	<b>Transcrição da Entrevista</b>
<p>A implementação é um fator crítico no sucesso ou fracasso de uma política. Como a IES toma/pretende tomar decisões para implementação das DCNs de engenharia? Que iniciativas foram tomadas? Quais seriam os principais desafios? Quais os principais riscos? Como mitigá-los?</p>	<p>A primeira coisa a realizar são testes preliminares incluindo algumas metodologias novas e projetos integradores; trazer meios de capacitar docentes que se interessem sob este aspecto; e ainda realizar ações também que envolvam a participação dos alunos nas discussões. De certa forma hoje os NDEs dos cursos têm realizado essa discussão, e a realização de workshops de discussão do tema, entre a direção e os coordenadores de curso, também nos aproximam cada vez mais da realidade da implementação das novas DCNs nos nossos cursos. Os desafios serão muitos, a começar pelos poucos recursos para mudar uma estrutura física de uma sala, ou adquirir ferramentas computacionais e de vídeo, que seriam primordiais nesta implementação. No entanto, embora existentes, sabemos que hoje é fundamental não só na questão de atendimentos às DCNs, mas para atender a realidade do alunado, uma adaptação curricular urgente. O principal risco é o de não conseguirmos adotar na plenitude estas mudanças e ainda não conseguindo os resultados almejados, mas acredito que esta estrutura precise ser implementada gradativamente e que passe por constantes avaliações, por parte dos coordenadores de curso, docentes e alunos. Assim, a cada entrave, uma solução pode ser proposta e ao final conseguiremos adequar a formação de nossos alunos à velocidade de crescimento do mercado de hoje. Esta avaliação pode ser feita com realização de workshops e grupos de discussão, visando reduzir os erros, e até trazendo experiências externas para tentar a solução para o problema.</p>
<p>Você tem uma rotina para gestão de progresso da implantação das DCNs de engenharia? Em que consiste esta rotina? Que sistema de avaliação usa? Qual a frequência de interação com a equipe responsável pela implementação?</p>	<p>Participamos do COBENG onde estas diretrizes foram discutidas em 2018 e ainda de outros grupos de discussão. Nos reunimos várias vezes ao longo de 2019 para traçar planos de ação, a direção e os coordenadores de curso. Neste momento, pretendemos realizar workshops com toda a comunidade acadêmica e trazer experiências externas relacionadas a implementação das diretrizes, ação já realizada uma vez em 2019. Para até o final de 2021 termos nossos projetos pedagógicos adaptados e as ações já em implementação.</p>
<p>O que você deseja alcançar nos próximos meses? Quais são suas metas de curto prazo? Que caminho acha mais eficiente para atingir suas metas?</p>	<p>Como informei, nossas metas são implementação já de disciplinas optativas pilotos que incluam projetos integradores e metodologias ativas, uso de base EaD em alguns casos, realização de workshops de discussão das DCNs e novas metodologias de ensino com toda a comunidade acadêmica, e ainda, por fim, implementar as reformas curriculares. O caminho mais eficiente exige a participação e boa vontade de todos na mudança, em especial docentes novos e das coordenações de curso. A presença de discentes na discussão é essencial</p>
<p>Qual é o objetivo (ou objetivos) principal (ais) para os próximos 6 meses? Qual o seu foco principal?</p>	<p>Em relação aos cursos da EQ estamos em vias de implementar reformas curriculares, visando adaptar nossos cursos de forma formal às novas tendências e tecnologias de mercado. Além disso, propiciar que novas metodologias de ensino, como metodologias ativas e projetos integradores, possam ser incluídos e usados, nas disciplinas constantes da grade curricular. Foco principal é implementação (das DCNs</p>
<p>O que tem aprendido nos últimos meses?</p>	<p>Em relação ao aprendizado é enorme, não só em relação aos desafios, mas como será possível realizar estas modificações, em especial às relacionadas à atuação e capacitação docente. Muitas mudanças e temos que ter a mente aberta para nos adaptarmos e assim renovarmos nossa forma de ensinar e a dos alunos de aprender.</p>

Questões com orientação às Oito Grandes categorias de competências	Transcrição da Entrevista
<p>Como você estrutura seu portfólio de alianças? Com quais parceiros você deveria trabalhar? Que parcerias você formou? Planeja ampliar seus relacionamentos ao longo dos próximos 3 meses? Como?</p> <p>Fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações</p>	<p>Na verdade, o portfólio de alianças na universidade é feito através de projetos de pesquisa e da absorção de nossos alunos nas empresas parceiras. Estas veem na universidade a oportunidade de divulgar seus processos de vagas e requisitam nossos alunos para completar seus quadros, seja de estagiários ou mesmo engenheiros. Um plano de ampliação seria importante, especificamente, em relação a alguns de nossos cursos, buscando mostrar o verdadeiro perfil de atuação de nossos profissionais. Esta tarefa hoje vem sendo planejada pela coordenação de estágios e após uma análise das empresas parceiras, poderemos vislumbrar atingir as que ainda não o são.</p>
<p>Quais são as principais implicações da Indústria 4.0/Inteligência Artificial na capacitação profissional do engenheiro? Quais as principais ações necessárias? Quem será responsável por estas ações?</p> <p>A interligação digital entre máquinas inteligentes, produtos e pessoas tem potencial de proporcionar grandes mudanças na atuação do engenheiro. Qual seria o perfil desejado dos profissionais de engenharia para atuar num ambiente inteligente?</p>	<p>Em relação à Indústria 4.0/Inteligência Artificial na capacitação do engenheiro, esta envolve ações que implementem, nas disciplinas ministradas, computação científica e ferramentas que possam trazer esta expertise aos alunos. Uma visão da atualidade e de como o mercado espera que este conhecimento seja empregado é uma realidade até em processos seletivos de estágio para estas classes, onde são exigidos conhecimentos de ferramentas computacionais. As ações deverão ser implementadas pelo corpo docente, desde que devidamente incorporadas no projeto pedagógico dos cursos e nas ementas das disciplinas que puderem usar tais artifícios.</p> <p>O citado anteriormente, aquele que vá munir o aluno com os conhecimentos exigidos para atuação neste ambiente, especificamente os conhecimentos de ferramentas computacionais.</p>
<p>Como a IES de engenharia poderia contribuir para formar um profissional capaz de “pensar de forma integrada”, integrando diversas áreas de expertise e assim poder desenvolver processos inovadores? Qual deveria ser o “dever de casa”?</p> <p>O que haveria de mudar no currículo dos cursos?</p>	<p>O dever de verdade já existe: são as chamadas disciplinas integradoras ou projetos integradores. Estes já fazem parte das novas diretrizes curriculares para cursos de engenharia lançadas em início de 2019 e que envolve iniciativas que contribuem para a formação profissional dos alunos. Estes ainda podem mostrar todo o seu potencial ao mercado, quando os projetos envolvem temas de interesse de empresas. Os estudantes trabalham em equipe, propõem soluções para situações não programadas, passam a ter uma visão interdisciplinar e rompem com paradigmas.</p>
<p>Quais estratégias de aprendizagem poderão ser utilizadas?</p> <p>Que metodologias poderiam ser usadas para formar estes profissionais?</p> <p>Como valorizar o corpo docente? Metodologias inovadoras / valorização do corpo docente</p>	<p>Metodologias ativas, projetos integradores, sala de aula invertida, uso de blogs, AVA, robótica, moodle, modelagem, vídeos, fóruns, resolução de problemas em grupo, oficinas, são muitas as metodologias atuais que permitem uma reformulação na forma de ensinar e formar de modo distinto estes profissionais. Mantendo sempre a relação entre a prática e a teoria.</p> <p>Atribuindo principalmente valorização a nível profissional em relação a capacitação docente. Hoje somos medidos pelo que publicamos e produzimos e a dedicação ao ensino de graduação importa muito pouco sob este aspecto. Assim em sua progressão e promoção docente, este deveria ser mais valorizado em relação a sua preocupação com a graduação, e isso inclui maior capacitação.</p>

<p>Que tipo de estudantes são extremamente produtivos no início, mas propensos a logo deixar o curso? Como podemos saber?</p> <p>Como você descreveria o sucesso do estudante ao longo do curso de engenharia? O que isso lhe diz sobre suas habilidades, conhecimentos e talentos?</p>	<p>Hoje os estudantes produtivos e que abandonam o curso, são aqueles que por serem extremamente inteligentes conseguem se sobressair, mesmo que em um curso que não foi sua 1ª opção de escolha. Ao perceberem isso, evadem em busca de suas reais aptidões. O próprio sistema de ingresso no ensino universitário nacional usado hoje, sistema ENEM/SISU, facilita para que essa mudança seja efetuada. É muito difícil mensurar isso, o que temos são estimativas do que vem acontecendo em nossos cursos por conta de dados matemáticos de períodos e anos anteriores, mas pode haver variações. Outra coisa importante é que fazemos uma triagem com os alunos ingressantes e temos uma pequena previsão daqueles que não estão em cursos de sua 1ª escolha, mas pouca coisa pode ser feita a este respeito.</p> <p>Acredito que o principal meio de medir o sucesso de um aluno ao longo de um curso de engenharia é a sua inserção no mercado seja através de estágios ao longo do curso, ou mesmo sua absorção no mercado de trabalho após a conclusão do curso. Hoje cerca de 80% de nossos alunos de engenharia realizam estágio em empresas de iniciativa privada ou pública, e ao término do curso 70% estão empregados, e cerca de 10% realizando pós-graduação. Pelo menos esta foi a realidade externada por alunos que concluíram o curso nos últimos dois anos, em pesquisa realizada em dezembro de 2019. Em relação às habilidades, conhecimentos e talentos adquiridos ao longo do curso, acredito que o fato de muitos serem empregados significa que apresentam qualidade de conhecimento, e mais ainda, característica como empreendedorismo, iniciativa e facilidade de se adaptar ao meio ambiente laboral.</p>
<p>Recente pesquisa sobre aprendizado revela que os estudantes ficam na escola por mais tempo e aprendem mais se tiverem de dirigir e registrar seu progresso. Qual sua opinião? Como encorajar o estudante a monitorar o próprio aprendizado e desempenho ao longo do curso?</p>	<p>Acho a iniciativa válida, mas hoje a nível dos jovens é complicado. Se não for um trabalho muito bem direcionado pedagogicamente e psicologicamente falando, pode gerar frustrações e até atrapalhar o processo. Um acompanhamento deste nível junto a um docente, acho que é o ideal, pois o aluno pode ter clareza de suas reais possibilidades, em função de seu momento de vida e necessidade atual, e assim obter maior progresso em relação a seu desempenho acadêmico e por consequência de seu próprio aprendizado/desempenho ao longo do curso.</p>

## ANEXO 2: Transcrição de entrevista da dirigente da UFRJ/Poli

<b>Questões sobre os Argumentos para Novas DCNs de Engenharia</b>
<p>De acordo com as DCNs de engenharia a formação do engenheiro deve ser vista como processos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Desenvolvimento de competências - o que haveria de mudar no currículo dos cursos? A conexão dos conhecimentos com as habilidades e atitudes em projetos práticos.</li> <li>● Metodologias inovadoras – que metodologias poderiam ser usadas para formar estes profissionais?</li> <li>● Indução de políticas institucionais inovadoras – quais seriam estas políticas?</li> <li>● Ênfase na gestão do processo de aprendizagem. Quais estratégias de aprendizagem poderiam ser realizadas?</li> <li>● Fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações. Como você estrutura seu portfólio de alianças? Com quais parceiros você deveria trabalhar? Que parcerias você formou? Planeja ampliar seus relacionamentos ao longo dos próximos 3 meses? Como?</li> </ul> <p>As alianças têm sido com o CREA, o Clube de Engenharia e as empresas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Como valorizar o corpo docente? Primeiro construindo com ele as mudanças.</li> </ul>

<b>Questões no contexto da implementação das Novas DCNs de engenharia</b>	<b>Transcrição da Entrevista</b>
A implementação é um fator crítico no sucesso ou fracasso de uma política. Como a IES toma/pretende tomar decisões para implementação das DCNs de engenharia? Que iniciativas foram tomadas? Quais seriam os principais desafios? Quais principais riscos? Como mitigá-los?	Os desafios e riscos são muitos num país sem plano industrial, e agora sem plano de desenvolvimento da infraestrutura, numa universidade pública, mas a solução será sempre um processo de transparência e governança de construção coletiva.
Você tem uma rotina para gestão de progresso da implantação das DCNs de engenharia? Em que consiste esta rotina? Que sistema de avaliação usa? Qual a frequência de interação com a equipe responsável pela implementação?	Não há uma equipe responsável pela implementação das DCNs de Engenharia, as Diretorias Adjuntas têm seus projetos de estruturação, avaliamos em reuniões de Diretoria e em reuniões temáticas conforme a necessidade.
O que você deseja alcançar nos próximos meses? Quais são suas metas de curto prazo? Que caminho acha mais eficiente para atingir suas metas?	Nossa estratégia não se baseia num plano de metas, e sim na informação das melhores práticas que se tem no mundo e dispor de ferramentas para que o corpo docente (possa) analisar o processo curricular e didático.
Qual é o objetivo (ou objetivos) principal (ais) para os próximos 6 meses? Qual o seu foco principal?	A Direção não trabalha com um cronograma, porque são 13 cursos de Engenharia que participamos da administração e em diversos arranjos de coordenação com outras unidades da UFRJ. Entãso, em alguns aspectos das DCNs são desenvolvidos a nível dos Conselhos de Curso, que tem representantes das Unidades. A

	nível de Diretoria, estruturamos novas diretorias para cuidar de novos processos que as DCNs apresentaram: Diretoria de Políticas Estudantis, que cuida do acolhimento e suporte acadêmico, Diretoria de Tecnologia e Inovação, Diretoria de Carreira e Empreendedorismo, unimos a Diretoria de Ensino com a de Extensão para realizar um trabalho junto aos docentes na implementação dos 10% da carga horária de extensão no currículo.
O que tem aprendido nos últimos meses?	As mudanças necessárias são muitas, e a pressa levará a entropia do processo, o melhor é colherno ritmo no seu tempo as boas sementeiras, porque a estrutura de formação atual é de qualidade, que nos diz o resultado de nossos egressos. Então, os bons precisam ser precisos nas mudanças para mudar com precisão para melhor!

### Questões com orientação às Oito Grandes categorias de competências

Como você estrutura seu portfólio de alianças? Com quais parceiros você deveria trabalhar? Que parcerias você formou? Planeja ampliar seus relacionamentos ao longo dos próximos 3 meses? Como? Fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações	As alianças têm sido com o CREA, o Clube de Engenharia e as empresas
Quais são as principais implicações da Indústria 4.0/Inteligência Artificial na capacitação profissional do engenheiro? Quais as principais ações necessárias? Quem será responsável por estas ações?  A interligação digital entre máquinas inteligentes, produtos e pessoas tem potencial de proporcionar grandes mudanças na atuação do engenheiro. Qual seria o perfil desejado dos profissionais de engenharia para atuar num ambiente inteligente?	São ferramentas e cultura tecnológica que irá evoluindo e se integrando nas etapas que descrevi, que fará repensar diversas relações de trabalho e sistemas de produção, mas o método de desenvolvimento da Engenharia será o mesmo, muda a matéria-prima, mas o processo é o mesmo. As implicações são econômicas no sentido que muitas tarefas que o engenheiro exerce na sua carreira não são a essência do trabalho de um engenheiro, que é pensar sistemas, criar, propor soluções, identificar e analisar problemas, inovar, ou seja, tudo que uma máquina pode fazer não são funções de um engenheiro, que por muito se habituou a fazer.  Um engenheiro na sua educação continuada deve ter a meta de ser um maestro onde conduza uma orquestra de expetises, e todo regente virtuoso começa sendo especialista em um instrumento musical (uma habilitação em engenharia). O sucesso na engenharia se dá em coordenar projetos ou em ser um exímio especialista, ou um Maestro ou um virtuoso de piano, violino ou outro instrumento de destaque que se apresenta em primeiro plano junto com o maestro. Assim, o perfil do engenheiro, como sempre foi, ou teremos que resgatar o perfil que se perdeu numa especialização incompleta para o desenvolvimento e a inovação, um perfil culto de forma humana, política, científica e tecnológica, porque o objetivo da Engenharia é atender as necessidades humans e sociais.
Como a IES de engenharia poderia contribuir para formar um profissional capaz de “pensar de forma integrada”, integrando diversas áreas de expertise e assim poder desenvolver processos inovadores? Qual deveria ser o “dever de casa”?	A engenharia é por sua natureza multidisciplinar, foi desquartejada pelo excessivo método científico aplicado a área profissional, o método ótimo para pesquisa, mas péssimo para se fazer um projeto (design ou project), precisamos voltar ao método de desenvolvimento de soluções de problemas, identificar os problemas, estudar os problemas, definir a demanda, elaborar a solução, dimensionar o projeto (design) e estudar sua viabilidade (agora multicritério sustentável) e detalhar sua execução.

	<p>A reforma curricular está caminhando nessa direção, agregando em cada uma dessas etapas pesquisa das melhores técnicas e práticas como informação estratégica do projeto e simulação computacional para gerar alternativas e construir critérios de avaliação das melhores alternativas de solução, isso não tínhamos há 35 anos atrás.</p>
<p>Quais estratégias de aprendizagem poderão ser utilizadas? Que metodologias poderiam ser usadas para formar estes profissionais? Como valorizar o corpo docente? Metodologias inovadoras / valorização do corpo docente</p>	<p>Estratégias – Não respondida Metodologias – Não respondida</p> <p>Valorização do corpo docente – primeiro construindo com eles as mudanças.</p>
<p>Que tipo de estudantes são extremamente produtivos no início, mas propensos a logo deixar o curso? Como podemos saber?</p> <p>Como você descreveria o sucesso do estudante ao longo do curso de engenharia? O que isso lhe diz sobre suas habilidades, conhecimentos e talentos?</p>	<p>As causas são distintas para se deixar um curso, as dificuldades de seguir com o curso tem diversos motivos que se agravaram nos últimos tempos, problemas que somaram nas últimas décadas, como problemas de permanência por hipossuficiência econômica, problemas socioemocionais, postergação de decisão de carreira propiciada pelo SISU, problemas com as provas extremamente fracas do ENEM para seleção de cursos altamente concorridos como Engenharia, problemas de dedicação dos cursos de ciências e matemáticas que não evoluiu com as ferramentas de computação, e outros que estamos investigando. Se contruiu historicamente a tradição de analisar o Coeficiente de Rendimento Acadêmico, que na prática é valorizado mais pelos docentes do que pelos discentes e o mercado de trabalho, que avalia outras habilidades. Existem poucos instrumentos de medição de habilidades e pouco se preocupa em desenvolver talentos, nem mesmo observá-los, o sistema educacional foi planejado para formar engenheiros medianos em série. Em alguns projetos pedagógicos as habilidades e atitudes, dois elementos que somados ao conhecimento formam a competência não são desenhadas no projeto curricular, as novas Diretrizes Curriculares Nacionais da Engenharia propõe uma orientação curricular por competências e não simplesmente por conteúdos.</p>
<p>Pesquisa sobre aprendizado revela que os estudantes ficam na escola por mais tempo e aprendem mais se tiverem de dirigir e registrar seu progresso. Como encorajar o estudante a monitorar o próprio aprendizado e desempenho ao longo do curso?</p>	<p>Na Escola Politécnica os alunos fazem isso, mas o Centro Acadêmico tem o estudo do desempenho das turmas e reivindica ações da Congregação e da Direção. No entanto, os problemas são complexos, a sua análise requer estudo, articulação entre as partes e a implementação das soluções dependem de diversos atores.</p>