UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELAGEM DE EMPRESAS (*ENTERPRISE MODELING*) DO PROCESSO DE
COLABORAÇÃO ENTRE EMPRESAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE SOLUÇÕES
RELACIONADAS ÀS INDÚSTRIAS 4.0**

Thales Botelho de Sousa

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de Doutor em Engenharia de
Produção.

Área de concentração: Processos e Gestão de Operações

Linha de pesquisa: Gestão de Desempenho

Orientador: Prof. Associado Fábio Müller Guerrini

São Carlos

2019

THALES BOTELHO DE SOUSA

**MODELAGEM DE EMPRESAS (*ENTERPRISE MODELING*) DO PROCESSO DE
COLABORAÇÃO ENTRE EMPRESAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE SOLUÇÕES
RELACIONADAS ÀS INDÚSTRIAS 4.0**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de Doutor em Engenharia de
Produção.

Área de concentração: Processos e Gestão de Operações

Orientador: Prof. Associado Fábio Müller Guerrini

São Carlos

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

B725m Botelho de Sousa, Thales
Modelagem de empresas (enterprise modeling) do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 / Thales Botelho de Sousa; orientador Fábio Müller Guerrini. São Carlos, 2019.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2019.

1. Indústrias 4.0. 2. Tecnologia da Informação e Comunicação. 3. Manufatura Inteligente. 4. Colaboração. 5. For Enterprise Modeling. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **THALES BOTELHO DE SOUSA**.

Título da tese: "Modelagem de empresas (*Enterprise Modeling*) do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às indústrias 4.0".

Data da defesa: 04/10/2019.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Fabio Muller Guerrini**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Edson Walmir Cazarini**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Fredy João Valente**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Reprovado

Prof. Dr. **Luis Antonio de Santa Eulalia**
(Université de Sherbrooke)

Aprovado

Prof. Dr. **Moacir Godinho Filho**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Reprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:

Prof. Dr. **Marcelo Seido Nagano**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

DEDICATÓRIA

A Deus por ter me dado vida, saúde, coragem, força e sabedoria para chegar até aqui; aos meus familiares pelo apoio; aos amigos e colegas do programa de pós-graduação e do meu trabalho pelo companheirismo e auxílio; aos meus alunos, pela boa convivência; ao meu orientador e demais professores pela paciência, dedicação e aprendizado; e aos profissionais de mercado e pesquisadores da área que foram entrevistados que, de maneira esplêndida, auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado vida, força, coragem, saúde, sabedoria e luz para que eu trilhasse este caminho e superasse todas as dificuldades que surgiram.

Ao meu orientador, o Professor Associado Fábio Müller Guerrini, por ter me proporcionado a oportunidade de ingressar no programa; pelo incentivo, apoio, parceria e paciência durante a realização do projeto e demais atividades correlatas; e por compartilhar comigo sua sabedoria, experiência profissional e visão analítica da ciência.

À Universidade de São Paulo (USP) pela bolsa do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE), auxílios financeiros concedidos e suporte físico disponibilizado.

À Coordenação de Apoio de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado e demais auxílios financeiros disponibilizados para a realização do projeto de pesquisa e desenvolvimento e publicação de artigos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Campus Registro pelo apoio concedido para a conclusão do Doutorado, aprimoramento da experiência profissional na docência e participação em congressos acadêmicos.

A todos os professores (em especial o Antônio Freitas Rentes, Kleber Francisco Esposto e Marcel Andreotti Musetti, os quais tive a oportunidade de ser aluno) e funcionários do departamento, pela convivência e cooperação, bem como por todo o empenho e zelo pela manutenção da qualidade do programa.

Aos professores membros da banca de defesa, pela disponibilidade de participação e pelas valiosas contribuições para o enriquecimento da tese.

A todos os colegas atuais e antigos do grupo de pesquisa, especialmente os que tive o prazer de conviver durante a realização do curso (Juliana Suemi Yamanari, Adauto Lucas da Silva, Lucas Portilho Camargos Gomes, Danilo José Pereira, Rodrigo Furlan de Assis, Cristiane Carneiro da Silva, Murilo José Rosa e Heber Lombardi de Carvalho). Obrigado pela amizade, apoio e auxílio no desenvolvimento do projeto.

Aos pesquisadores da área de pesquisa e profissionais de empresas que foram entrevistados pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento do tema e da minha tese.

Aos meus familiares (especialmente pais e irmãos) e amigos da Igreja Adventista do Sétimo Dia - Movimento de Reforma e da Igreja do Sétimo Dia - Movimento do Advento pelo apoio, orações e auxílio.

Aos amigos dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da EESC-USP e da UFSCar (são tantos, que fica difícil citar todos) pela amizade, auxílio, companheirismo e momentos de lazer.

Aos amigos e colegas de trabalho do IFSP pela compreensão, auxílio e votos de sucesso.

Aos meus alunos, pela convivência, carinho e motivação.

Aos demais amigos e conhecidos pelo apoio e votos de sucesso.

EPIÍGRAFE

Alguns homens veem as coisas como são, e dizem ‘por quê?’ Eu sonho com as coisas que nunca foram e digo ‘por que não?’

George Bernard Shaw

RESUMO

SOUSA, T. B. **Modelagem de empresas (*enterprise modeling*) do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0**. 2019. 193 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

Nos últimos tempos, com as constantes inovações organizacionais e tecnológicas, as empresas necessitam de novos modelos organizacionais para que possam se manter estruturalmente sólidas frente aos grandes desafios impostos pela intensa e crescente competitividade. Um novo paradigma empresarial exige que as organizações se tornem mais sustentáveis nos aspectos ambiental, social, ético, ergonômico e econômico; e, para alcançar tal sustentabilidade as empresas precisam desenvolver sistemas inteligentes para serem flexíveis e velozes a fim de enfrentar os desafios impostos e considerar uma vasta gama de informações. Para que possam lidar adequadamente com tais sistemas inteligentes, visando manusear, organizar e analisar as diversas fontes de informações, é necessário que as empresas possuam sistemas sensíveis. Assim, surgem novos modelos organizacionais de empresas que visam melhorar a produtividade e eficiência das indústrias por meio da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Os governos nacionais e regionais estão desenvolvendo e lançando iniciativas e programas tais como as Indústrias 4.0 na Alemanha, Internet Industrial e Manufatura Avançada nos EUA, Made in China 2025 e Internet Plus na China, La Nouvelle France Industrielle na França, Empresas S³ (as quais abrangem os conceitos de *sensing*, *smart* e *sustainable*) na Áustria, Rumo à Indústria 4.0 no Brasil, dentre outras iniciativas desenvolvidas em outros países e que ainda são pouco conhecidas. Tais modelos organizacionais exercem um importante papel na digitalização de estratégias, decisões e operações, mostrando-se eficientes para enfrentar os desafios intrínsecos a economias digitais. Dentre tais iniciativas, a Indústria 4.0 é a que tem obtido maior destaque. A literatura sinaliza a necessidade de desenvolvimento de arquiteturas, linguagens visuais e modelos de empresas adequados e compreensíveis que possam orientar o desenvolvimento das Indústrias 4.0 e a implantação de soluções relacionadas ao paradigma (especialmente a investigação da questão da colaboração entre empresas durante o projeto). A literatura sinaliza também que a formação de redes colaborativas é essencial para o desenvolvimento das Indústrias 4.0, pois os princípios destas duas áreas são relacionados. Nesse contexto, com o intuito de facilitar a compreensão da transformação digital das empresas para alcance da Indústria 4.0 e a compreensão da dinâmica da colaboração entre empresas no

projeto de implantação de soluções relacionadas, o presente trabalho apresenta um modelo de empresas (*enterprise model*) da situação atual (*As-Is*) sob a ótica de redes colaborativas. O modelo foi desenvolvido por meio da modelagem de empresas, documentando os seus objetivos, regras de negócio, processos, atores e recursos, componentes e requisitos técnicos e conceitos por meio do método For Enterprise Modeling (4EM), o qual é orientado para a gestão de conhecimento. A contribuição deste trabalho é a identificação de princípios norteadores para que pesquisadores e profissionais de empresas interessadas em alcançar a filosofia das Indústrias 4.0 e implantar soluções relacionadas a ela tenham um modelo referencial estruturado na ótica de redes colaborativas para o desenvolvimento do estado futuro (*To-Be*) do projeto.

Palavras-chave: Indústrias 4.0, Tecnologia da Informação e Comunicação, Manufatura Inteligente, Colaboração, For Enterprise Modeling.

ABSTRACT

SOUSA, T. B. **Enterprise modeling of the process of collaboration among companies to implement solutions related to Industries 4.0.** 2019. 193 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

In recent times, with the constant organizational and technological innovations, companies need new organizational models so that they can remain structurally stable in the face of the significant challenges imposed by the intense and growing competitiveness. A new enterprise paradigm requires organizations to become more environmentally, socially, ethically, ergonomically, and economically sustainable. For achieving this sustainability, companies need to develop intelligent systems to be flexible and fast to meet the challenges posed and to consider a wide range of information. Companies need sensing systems to deal adequately with such intelligent systems, to manipulate, organize, and analyze the various sources of information. Thus, new organizational business models that aim to improve the productivity and efficiency of industries through Information and Communication Technology (ICT) have been developed. National and regional governments are developing and launching initiatives and programs such as Industries 4.0 in Germany, Industrial Internet and Advanced Manufacturing in USA, Made in China 2025 and Internet Plus in China, La Nouvelle France Industrielle in France, S³ Enterprises (which cover the concepts of sensing, smart and sustainable concepts) in Austria, Towards to Industry 4.0 in Brazil, among other initiatives developed in other countries and still little known. Such organizational models play an essential role in the digitization of strategies, decisions, and operations, being efficient to face the challenges intrinsic to digital economies. Among these initiatives, Industry 4.0 has been the most prominent. The literature points to the need to develop suitable architectures, visual languages and enterprise models that can guide the development of Industries 4.0 and the implementation of paradigm-related solutions (especially the investigation of collaboration between companies during the project). The literature also indicates that the formation of collaborative networks is essential for the development of Industries 4.0, as the principles of these two areas are related. In this context, to facilitate the formalization, development and enterprise adaptation of such initiative, as well as an understanding of the dynamics of collaboration among companies in the project to implement related solutions, this paper proposes an enterprise model of the As-Is situation from the perspective of collaborative

networks. Such model was developed through the For Enterprise Modeling (4EM) method, which is oriented to knowledge management, and document the goals, business rules, processes, actors and resources, technical components and requirements, and concepts. The contribution of this work is the identification of guiding principles so that researchers and professionals of companies interested in reaching the 4.0 Industry philosophy and implementing related solutions have a structured referential model based on the perspective of collaborative networks for the To-Be state.

Keywords: Industries 4.0, Information and Communication Technology, Intelligent Manufacturing, Collaboration, For Enterprise Modeling.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Princípios de projeto das Indústrias 4.0	61
Quadro 2 - Conectores utilizados nos modelos do método 4EM	96
Quadro 3 - Notação dos componentes do Modelo de Processos	98
Quadro 4 - Descrição dos especialistas entrevistados	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimentos realizados para o levantamento bibliográfico utilizado neste artigo	48
Figura 2 - Estrutura do método 4EM.....	94
Figura 3 - Modelo de Objetivos.....	101
Figura 4 - Modelo de Regras do Negócio.....	103
Figura 5 - Modelo de Processos	105
Figura 6 - Modelo de Atores e Recursos - compra de tecnologia(s) de empresa fornecedora	108
Figura 7 - Modelo de Atores e Recursos - qualificação dos próprios funcionários técnicos .	110
Figura 8 - Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos	112
Figura 9 - Modelo de Conceitos	114
Figura 10 - Modelo de Objetivos.....	132
Figura 11 - Modelo de Regras do Negócio	134
Figura 12 - Modelo de Processos	137
Figura 13 - Visão geral do Modelo de Atores e Recursos.....	138
Figura 14 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos papéis, recursos e processos de responsabilidade de cada ator da empresa desenvolvedora de soluções	140
Figura 15 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos processos, e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa implantadora de soluções	142
Figura 16 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos processos de responsabilidade de cada ator da empresa de treinamento e consultoria	143
Figura 17 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos processos, papéis e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa adquirente de soluções	145
Figura 18 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos papéis e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa fornecedora de bens e serviços à empresa adquirente de soluções.....	146
Figura 19 - Visão geral do Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos.....	148
Figura 20 - Submodelo do Objetivo SI 1.....	150
Figura 21 - Submodelo do Objetivo SI 2.....	152
Figura 22 - Submodelo do Objetivo SI 3.....	154
Figura 23 - Modelo de Conceitos	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre os principais métodos de modelagem de empresas.....	37
Tabela 2 - Comparação entre os principais métodos de modelagem de empresas.....	91

LISTA DE SIGLAS

4EM	For Enterprise Modeling
AGV	Autonomous Ground Vehicle
ARIS	Architecture of Integrated Information Systems
CIMOSA	Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture
CNC	Controle Numérico Computadorizado
ERP	Enterprise Resources Planning
GERAM	Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology
GRAI	Graphs with Results and Actions Inter-related
IDEF	Integration DEFinition
M2M	Machine-To-Machine
MES	Manufacturing Execution System
ORDIT	Organizational Requirements Definition of Information Technology Systems
PERA	Purdue Enterprise Reference Architecture
PIMS	Plant Information Management Systems
PLC	Programmable Logic Controller
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UML	Unified Modelling Language

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	7
AGRADECIMENTOS	9
EPÍGRAFE	11
RESUMO	13
ABSTRACT	15
1. INTRODUÇÃO	29
1.1 Objetivos	31
1.2 Justificativa	32
1.3 Metodologia	33
1.3.1 Da revisão sistemática da literatura	34
1.3.2 Da opinião de especialistas	35
1.3.3 Da modelagem de empresas	35
1.4 Estrutura da tese	38
1.5 Referências	39
2. UMA REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA SOBRE AS INDÚSTRIAS 4.0	45
2.1 Introdução	45
2.2 Metodologia	47
2.3 Visão geral das fases da revolução industrial e das Indústrias 4.0	49
2.4 Conceitos fundamentais relacionados com as Indústrias 4.0	51
2.4.1 Fabricação inteligente	52
2.4.2 Sistemas ciber-físicos	53
2.4.3 Internet das Coisas	53
2.4.4 Internet de serviços	54
2.4.5 Auto-organização	54
2.4.6 Responsabilidade social corporativa	55
2.4.7 Impressão 3D	56
2.4.8 Robótica	56
2.4.9 Blockchain	57
2.4.10 Computação em nuvem	57
2.4.11 Big data	58
2.4.12 Realidade aumentada	58
2.4.13 Cybersecurity	59

2.5 Princípios de projeto das Indústrias 4.0	60
2.5.1 Interoperabilidade	62
2.5.2 Virtualização	62
2.5.3 Descentralização	63
2.5.4 Capacidade em tempo real	64
2.5.5 Orientação de serviço	64
2.5.6 Modularidade	65
2.6 Arquiteturas de referência para as Indústrias 4.0	65
2.7 Benefícios da consolidação das Indústrias 4.0	66
2.8 Desafios e futuras tendências no desenvolvimento das Indústrias 4.0	68
2.9 Considerações finais	70
2.9 Referências	72
3. MODELAGEM DE EMPRESAS DO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DIGITAL PARA ALCANCE DO PARADIGMA DAS INDÚSTRIAS 4.0: RECORTE ANALÍTICO NA VISÃO DE UMA EMPRESA FORNECEDORA DE TECNOLOGIAS	83
3.1 Introdução	83
3.2 Procedimentos metodológicos	85
3.2.1 Estruturação da entrevista	86
3.2.2 Seleção do método de modelagem de empresas	87
3.3 Modelo de empresas para transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0	98
3.3.1 Modelo de Objetivos	99
3.3.2 Modelo de Regras do Negócio	102
3.3.3 Modelo de Processos	104
3.3.4 Modelo de Atores e Recursos	106
3.3.5 Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos	111
3.3.6 Modelo de Conceitos	113
3.4 Discussão dos resultados	115
3.5 Considerações finais	117
3.5.1 Contribuições da pesquisa	117
3.5.2 Limitações da abordagem e pesquisas futuras	118
3.6 Referências	118

4. MODELAGEM DE EMPRESAS (<i>ENTERPRISE MODELING</i>) DO PROCESSO DE COLABORAÇÃO ENTRE EMPRESAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE SOLUÇÕES RELACIONADAS ÀS INDÚSTRIAS 4.0	125
4.1 Introdução	125
4.2 Procedimentos metodológicos	128
4.3 Modelagem de empresas do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0: a análise do estado atual (<i>As-Is</i>)	129
4.3.1 Modelo de Objetivos	130
4.3.2 Modelo de Regras do Negócio	133
4.3.3 Modelo de Processos	135
4.3.4 Modelo de Atores e Recursos	138
4.3.5 Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos	146
4.3.6 Modelo de Conceitos	155
4.4 Discussão dos resultados: a contribuição do modelo <i>As-Is</i>	157
4.5 Considerações finais	159
4.5.1 Contribuições da pesquisa	160
4.5.2 Limitações da abordagem e pesquisas futuras	161
4.6 Referências	162
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	165
APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema	171
APÊNDICE B - Roteiro de abordagem para entrevista de profissionais	187
1. Caracterização geral do entrevistado	187
2. Fases do processo de reestruturação	187
3. 4EM - Questões-guia	187
3.1 Modelo de Objetivos	187
3.2 Modelo de Regras do Negócio	188
3.3 Modelo de Processos de Negócio	189
3.4 Modelo de Atores e Recursos	189
3.5 Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos	190
3.6 Modelo de Conceitos	190
APÊNDICE C - Roteiro de abordagem para entrevista de profissionais	191
1. Caracterização geral da empresa	191

2. Fases do processo de implantação da tecnologia ou serviço	191
3. 4EM - Questões-guia.....	191
3.1 Modelo de Objetivos.....	191
3.2 Modelo de Regras do Negócio	192
3.3 Modelo de Processos de Negócio	192
3.4 Modelo de Atores e Recursos	192
3.5 Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos	192
3.6 Modelo de Conceitos	193

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o cenário de intensa competição entre as empresas e demandas tecnológicas têm impulsionado a flexibilização de estruturas organizacionais, compelindo as indústrias no sentido de aprimorarem constantemente o desempenho de seus processos produtivos e gerenciais. As empresas industriais estão constantemente evoluindo e adaptando-se aos requisitos do mercado (DE LA FUENTE; ROS; ORTIZ, 2010). Segundo Zaidat, Boucher e Vincent (2005), os envolvimento sociais e econômicos estão caracterizados pela imersão de novas organizações, que por sua vez são induzidas por fatores mercadológicos, produtos com ciclo de vida curto, alta variação da demanda, necessidade de flexibilidade e reação e rápido desenvolvimento da Tecnologia da Informação (TI). Assim, nota-se uma relação direta entre a competitividade e a realização de atividades inovadoras em produtos e processos, enfatizando-se o desenvolvimento de novas metodologias e estruturas voltadas ao gerenciamento e otimização de produtos, processos de manufatura e organização industrial (OCDE, 2005; SCHUMPETER, 2008).

De acordo com Weichhart et al. (2016) a evolução da tecnologia, especialmente a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), indica a necessidade de as organizações adotarem novos modelos de negócios, renunciando a métodos tradicionais e arcaicos de gestão, para inserção e/ou permanência no mercado altamente competitivo e caracterizado por rápidas e intensas mudanças. Esses novos métodos de gestão são fortemente apoiados pelas competências digitais das empresas, as quais podem ser definidas como a capacidade de explorar e enfrentar flexivelmente novas situações tecnológicas para analisar, selecionar e criticamente avaliar dados e informações, visando representar e resolver problemas, bem como construir conhecimentos colaborativos e compartilhados (GONZALEZ-PEREZ et al., 2014).

A manufatura inteligente é uma forma emergente de produção que integra os atuais e futuros ativos de fabricação com sensores, plataformas de computação, tecnologia de comunicação, controle, simulação, modelagem intensiva de dados e engenharia preditiva (KUSIAK, 2018). A adaptabilidade, eficiência de recursos, ergonomia, integração de clientes e parceiros em processos de negócios e de valor são as principais características da manufatura inteligente (SHAFIQ et al., 2015). A manufatura inteligente utiliza os conceitos de sistemas ciber-físicos, internet das coisas, computação em nuvem, computação orientada a serviços, inteligência artificial e ciência dos dados; e, uma vez implementados, esses conceitos e tecnologias fazem com que a manufatura inteligente seja a marca da quarta revolução industrial (KUSIAK, 2018).

A manufatura inteligente tem atraído a atenção da indústria, das organizações governamentais e da academia, e vários consórcios e grupos de discussão foram formados para desenvolver arquiteturas, roteiros, padrões e agendas de pesquisa (KUSIAK, 2018). Líderes governamentais de vários países estão estimulando o desenvolvimento e lançamento de novas iniciativas e abordagens industriais para alcançar a filosofia da manufatura inteligente. Dentre as principais iniciativas, podem ser citadas as Indústrias 4.0 na Alemanha, Internet Industrial e Manufatura Avançada nos Estados Unidos, Made in China 2025 e Internet Plus na China, La Nouvelle France Industrielle na França, Rumo à Indústria 4.0 no Brasil e Empresas S³ na Áustria (POSADA et al., 2015; WANG et al., 2016; WEICHHART et al., 2016). Segundo Shafiq et al. (2016), dentre as iniciativas desenvolvidas no âmbito da manufatura inteligente, a Indústria 4.0 é a que vem obtendo o maior destaque.

A Indústria 4.0 representa um sistema de produção inteligente que visa construir redes globais de criação de valor ao combinar vários fatores de produção industrial, tais como instalações de produção, sistemas de armazenagem e sistemas de logística (REN et al., 2017); e o sistema de produção correspondente atende aos requisitos do mercado ao usar sistemas ciber-físicos, internet das coisas e computação em nuvem (MA; WANG; ZHAO, 2017). A Indústria 4.0 traz muitos benefícios, tais como aplicativos e serviços inovadores, novas tecnologias e recursos avançados, maior operacionalização e redução dos custos de instalação (HALLER; GENGE, 2017).

De acordo com Mihardjo et al. (2019), a inovação, colaboração, integração e interoperabilidade são os quatro fatores críticos de sucesso para a Indústria 4.0. Segundo Hamada (2019), empresas afirmam que a colaboração entre seus sistemas de informação e os dos clientes e fornecedores é essencial. A integração entre tais sistemas visa criar um cenário colaborativo entre as áreas de engenharia, produção, fornecedores, marketing e operações da cadeia de suprimentos, considerando os níveis de automação e fluxo de informações (SAUCEDO-MARTÍNEZ et al., 2018).

No paradigma da Indústria 4.0, sistemas de informação e conhecimento podem ser integrados com base em redes colaborativas, e essa integração permite um gerenciamento mais eficiente e otimizado das cadeias de valor, bem como o uso de recursos (GARCIA-MUIÑA et al., 2019). Camarinha-Matos, Fornasiero e Afsarmanesh (2017) e Bravi, Murmura e Santos (2018) afirmam que as redes colaborativas representam um grande impulsionador das Indústrias 4.0.

Uma rede colaborativa é constituída por uma variedade de entidades, como por exemplo, organizações e pessoas, que são largamente autônomas, geograficamente distribuídas,

e heterogêneas em termos de seu ambiente operacional, cultura, capital social e metas; mas que colaboram para melhor alcançar metas comuns ou compatíveis, como por exemplo, a resolução de problemas, produção ou inovação, e cujas interações são apoiadas por uma rede de computadores (CAMARINHA-MATOS e AFSARMANESH, 2005; PICARD e RABELO, 2010). Dentre os vários tipos de redes, as redes colaborativas são de especial relevância. Estas redes se manifestam em uma ampla variedade de formas, incluindo organizações virtuais, empresas virtuais, cadeias de suprimento dinâmicas, comunidades profissionais virtuais, ciência eletrônica, laboratórios virtuais colaborativos, dentre outros (CAMARINHA-MATOS e AFSARMANESH, 2005).

Segundo Abreu, Macedo e Camarinha-Matos (2009), o surgimento das várias formas de redes colaborativas é induzido pelas dramáticas mudanças nos ambientes de negócios nos últimos anos, combinadas com o papel facilitador dos avanços na tecnologia de informação e comunicação. Para Romero, Rabelo e Molina (2013), as redes colaborativas têm emergido como um novo e conceituado paradigma para melhorar a competitividade das organizações em um aspecto sustentável nos ambientes crescentemente globalizados e dinâmicos.

No âmbito das Indústrias 4.0, diferentes tipos de recursos de manufatura em uma fábrica, como máquinas, robôs, ferramentas e veículos, são dotados de recursos inteligentes de comunicação, tomada de decisão etc. e estes recursos formam uma rede colaborativa que precisa ser modelada e analisada em detalhes (DING et al., 2019). Neubauer et al. (2017) sinalizam a necessidade de desenvolvimento de modelos e arquiteturas para a Indústria 4.0. Para Lasi et al. (2014), a Indústria 4.0 necessita de métodos avançados de modelagem e segundo Koussouris et al. (2010) as técnicas de modelagem de empresas e as linguagens visuais associadas são muito importantes e úteis para apoiar o desenvolvimento de empresas inteligentes.

Com base nestas lacunas, esta pesquisa tem como finalidade modelar os principais elementos relacionados às Indústrias 4.0 por meio da metodologia For Enterprise Modeling (4EM). O objetivo primordial é disponibilizar modelos de empresas que auxiliem pesquisadores, profissionais de mercado e demais interessados a compreenderem a dinâmica da situação atual (*As-Is*) da colaboração entre empresas no projeto de implantação de soluções relacionadas à estratégia e os principais desafios a serem enfrentados para a sua consolidação.

1.1 Objetivos

Esta tese tem como objetivo geral desenvolver um modelo de empresas da situação atual (*As-Is*) do processo de colaboração entre empresas para implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 na perspectiva de redes colaborativas.

Como objetivos específicos, a tese visa:

- (1) Auxiliar a compreensão do processo de transformação digital das empresas;
- (2) Auxiliar a compreensão do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0;
- (3) Apresentar elementos que possam ser úteis no desenvolvimento de modelos da situação futura (*To-Be*) do processo de colaboração entre empresas para implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 na perspectiva de redes colaborativas.

1.2 Justificativa

A interoperabilidade é considerada como uma questão primordial no domínio das TICs para organizações empresariais, e a modelagem de empresas representa um ponto-chave no âmbito da interoperabilidade (DUCQ; CHEN; VALLESPER, 2004). Um dos principais objetivos da modelagem de empresas consiste em reunir o conhecimento tácito espalhado por toda a organização e apresentá-lo de forma explícita e compreensível para todas as partes interessadas (BIDER et al., 2017). No âmbito da gestão empresarial, a modelagem de empresas está associada com as futuras empresas associadas com a internet, sendo um dos requisitos que podem auxiliar seu desenvolvimento (MOISESCU; SACALA, 2016). A modelagem de empresas tem grande relevância como técnica de engenharia para melhor compreender e reestruturar as operações de uma empresa de forma eficiente (BERIO; VERNADAT, 1999).

Para Lasi et al. (2014), a Indústria 4.0 necessita de métodos avançados de modelagem de empresas. Um modelo de empresas geralmente requer o desenvolvimento de uma série de modelos parciais, desenvolvidos com diferentes formalismos, cada um lidando com uma perspectiva e em uma fase específica do processo de modelagem (CANTAMESSA; PAOLUCCI, 1998). Os modelos de empresas resultantes do processo de modelagem fornecem uma base ideal para realização de *benchmarking* sem a necessidade de entrar em contato com outras empresas (ZÜLCH; RINN, 1999). O conhecimento obtido por meio dos modelos de empresas pode ser usado para avaliar cenários de negócios alternativos (como exemplo tem-se as análises baseadas em simulação), analisar e aprimorar os processos de negócios, facilitar a mudança ou o uso de diferentes estruturas organizacionais, avaliar o uso de diferentes recursos e infraestruturas, e assim por diante (MURGATROYD; HODGSON; WESTON, 1998).

Ao modelar um grande número de empresas, muitas atividades paralelas podem ser encontradas, especialmente entre aquelas que operam em campos similares, e a combinação de toda essa experiência resulta em um conjunto de conhecimentos especializados que são armazenados em um modelo que pode ser utilizado ou aprimorado por várias empresas de consultoria, desenvolvedoras de *softwares* ou de outros ramos de negócio (ZÜLCH; RINN, 1999). Tortorella e Fettermann (2018) afirmam que há grande necessidade de entendimento e investigação dos benefícios e desafios impostos pela adoção de tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil, e, por isso, para este trabalho foram entrevistados profissionais de empresas de consultoria e universidades brasileiras.

1.3 Metodologia

Quanto à natureza, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois de acordo com Turrioni e Mello (2012), tem como finalidade gerar conhecimentos para aplicação prática, direcionados para a resolução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

De acordo com a abordagem, a pesquisa pode ser classificada como qualitativa. De acordo com Bernardes, Muniz Júnior e Nakano (2019), em uma definição ampla, a pesquisa qualitativa (também conhecida como pesquisa interpretativa) visa compreender o ponto de vista daqueles que estão envolvidos na situação sob investigação, a fim de interpretar os significados que eles atribuem à situação ou evento estudado. Para desenvolvê-la no âmbito da engenharia de produção, o pesquisador deve visitar a organização objeto de estudo fazendo observações e coletando evidências dos fatos estudados (MARTINS, 2012).

Com base nos seus objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória. De acordo com Gil (2010) as pesquisas exploratórias visam proporcionar maior familiaridade com o problema, a fim de torná-lo mais explícito ou constituir hipóteses, e na visão de Miguel e Sousa (2012) deve ser utilizada quando o tema não se encontra bem formulado ou é emergente. Neste projeto foram desenvolvidos modelos de empresas para auxílio à estruturação das Indústrias 4.0 e implantação de soluções relacionadas ao paradigma, visando atender lacunas de pesquisa sinalizadas na literatura.

Uma abordagem híbrida que combina revisão sistemática da literatura, opinião de especialistas e modelagem de empresas foi utilizada para alcançar os objetivos desta pesquisa.

1.3.1 Da revisão sistemática da literatura

Uma revisão sistemática da literatura é um aspecto metódico e definido de identificação, avaliação e análise de estudos previamente publicados e que visa investigar questões específicas de pesquisa, tópicos ou fenômenos de interesse (KHAN; NIAZI; AHMAD, 2011; CALDERÓN; RUIZ, 2015).

Para encontrar as fontes bibliográficas apropriadas para o desenvolvimento desta tese foram consultadas, dentre as diversas áreas do conhecimento, as seguintes bases de dados: Scopus e Web of Science. Essas bases de dados foram selecionadas em função de seu amplo acesso e impacto na comunidade acadêmica internacional. Foram selecionados preferencialmente artigos publicados em periódicos indexados, pois são considerados como as pesquisas de mais alto nível científico (CARNEVALLI; MIGUEL, 2008; NGAI et al., 2008). Algumas informações extraídas de livros e de artigos publicados em congressos também foram utilizadas, pois apesar de essas fontes terem menor relevância, certamente elas podem ter dados importantes (BORTOLLOSI; SAMPAIO, 2012).

A revisão sistemática realizada nesta tese teve como objetivo analisar o que já foi pesquisado e publicado sobre as Indústrias 4.0, a fim de, dessa forma, verificar as tendências relativas, as lacunas de pesquisa ainda não respondidas e absorver informações que permitissem estruturar conceitualmente tal estratégia. Para selecionar as publicações de interesse, durante as etapas do projeto, o termo “Industr* 4.0¹” foi explorado no título, resumo e palavras-chave dos artigos, sem restringir o período de publicação. Apenas artigos redigidos na língua inglesa, revisados por pares e com acesso disponibilizado a alunos da EESC-USP foram levantados. Após a conclusão da busca bibliográfica, foram removidos os artigos duplicados (isto é, os que se encontram indexados tanto na Scopus quanto na Web of Science). Após a leitura dos artigos restantes, foram removidos os que apenas mencionavam o termo “Industr* 4.0” no resumo, palavras-chave e introdução.

Os 1.308 artigos relacionados ao tema encontrados (após aplicar todos os filtros mencionados anteriormente) foram publicados em 446 periódicos, e destes, 180 estão indexados na Thompson Reuters, o que indica que o tema é bastante interessante para a

¹ Embora Kiel, Arnold e Voigt (2017), Schütze, Helwig e Schneider (2018) afirmem que o termo “*Industrial Internet of Thing**” (IIoT) seja sinônimo do termo “Industr* 4.0”, Sisinni et al. (2018) afirmam que eles não podem ser usados de maneira intercambiável. Além do mais, em seu abrangente estudo bibliométrico da produção acadêmica sobre o tema Scopus e Web of Science, Muhuri, Shukla e Abraham (2019), usaram apenas o termo “Industr* 4.0”.

comunidade acadêmica. O Apêndice A lista a quantidade anual de artigos publicados até 15 de novembro de 2019 e os periódicos onde eles foram apresentados.

1.3.2 Da opinião de especialistas

De acordo com Makridakis, Wheelwright e Huynndman (1998), a opinião de especialistas baseia-se no julgamento humano e na intuição dos especialistas na área de negócio para a criação de cenários futuros. Werner (2004) afirma que a opinião de especialistas auxilia em situações em que o histórico ou estado atual apresentam um perfil instável, e assim, pode diminuir a inconsistência e as possibilidades de erro. Assim, considerando que a Indústria 4.0 ainda está em fase de consolidação, a opinião de especialistas mostra-se bastante adequada para a coleta de informações necessárias para desenvolver os modelos de empresas apresentados nesta tese.

1.3.3 Da modelagem de empresas

A modelagem de empresas é usada como técnica para representar e entender a estrutura e o comportamento de uma empresa, para analisar processos de negócios, e, em muitos casos, para reengenharia de processos de negócio (MERTINS; JOCHEM, 2005). Inicialmente focadas no gerenciamento da produção e posteriormente abordando todas as funções de uma empresa, as pesquisas na área de modelagem de empresas têm sido desenvolvidas desde 1980, no escopo da necessidade de integração de funções empresariais (DOUMEINGTS et al., 2000).

Segundo Vernadat (1996), a modelagem de empresas é orientada para a representação e especificação dos vários aspectos das operações de uma empresa, os quais compreendem: (1) os aspectos funcionais, para descrever quais são as coisas a serem feitas e em qual ordem; (2) os aspectos informativos, para descrever quais objetos são usados ou processados; (3) os aspectos de recursos, para descrever o que ou quem executa as coisas, de acordo com a política definida pela organização; e (4) os aspectos organizacionais, para descrever a estrutura organizacional e o quadro de responsabilidade dentro do qual as coisas estão sendo feitas.

A modelagem de uma organização começa no nível estratégico ou corporativo e progride através da decomposição de objetos, atividades e associações do nível corporativo até os níveis tático e operacional (WHITMAN; GIBSON, 1996). Objetos são as coisas internas e externas ao negócio para as quais é importante reter informações. As atividades representam o que a empresa faz em termos das principais funções, processos e procedimentos. As associações

são relacionamentos, dependências, características compartilhadas ou outras conexões entre objetos e atividades organizacionais.

Os métodos de modelagem oferecem diversas visões e descrições sobre as empresas e suas atividades, sendo apoiados por sistemas de informação. Um dos objetivos fundamentais na modelagem da funcionalidade de uma empresa é adotar uma abordagem adequada para identificar e analisar as atividades da empresa (TOH, 1999). Pádua (2012) afirma que o processo de modelagem de empresas deve trazer respostas a questões como: “por que”, “o que”, “quem”, “qual”, “quando”, “onde” e “como”; valendo-se de diversas técnicas de modelagem existentes na literatura. A pesquisa no campo da modelagem de empresas resultou no desenvolvimento de uma ampla gama de técnicas de modelagem que fornecem representações visuais para melhorar a compreensão e comunicação sobre a arquitetura de negócios (ROELENS; STEENACKER; POELS, 2019). O sucesso do método em diferentes áreas depende das suas capacidades explicativas e representativas (KIRIKOVA, 2000). Ao escolher um método de modelagem, os especialistas no processo devem ter em mente quem lerão e usarão os modelos (BERTONI et al., 2009).

1.3.3.1 Seleção do método para a modelagem de empresas

Segundo Berio e Vernadat (1999, 2001) e Liu et al. (2008), qualquer abordagem para realização da modelagem de empresas deve, pelo menos, lidar com:

1) Três tipos fundamentais de fluxos dentro de ou entre empresas:

- Fluxos de materiais (objetos físicos como produtos, ferramentas, matérias-primas etc.);
- Fluxos de informação (por exemplo, documentos, dados, arquivos de computador, telefonemas etc.);
- Fluxos de decisão/controle (sequência de operações);

2) Cinco visões de modelagem:

- Visão de função: abordando a funcionalidade da empresa (o que deve ser feito) e o comportamento da empresa (em que ordem o trabalho deve ser feito);
- Visão de informação (quais são os objetos a serem processados ou a serem usados);
- Visão de recursos (quem/o que faz o que);
- Visão de organização (unidades de organização e seus relacionamentos, quem é responsável pelo que ou quem, quem tem autoridade sobre o que, empoderamento das pessoas etc.);

- Visão lógica de negócios que aborda todas as restrições ou regras;
- Outros aspectos que podem ser considerados (por exemplo, visão econômica, visão de ergonomia etc.);

3) Três níveis de modelagem:

- Definição de requisitos: para representar ‘a voz dos usuários’, isto é, o que é necessário, expresso de forma detalhada e inequívoca;
- Especificação de projeto: para definir formalmente uma ou mais soluções que satisfaçam o conjunto de requisitos, para analisar suas propriedades e selecionar o “melhor”;
- Descrição da implementação: para indicar detalhadamente a solução de implementação levando em consideração restrições físicas técnicas.

A seleção da técnica certa é um dos estágios essenciais em um projeto de modelagem de empresas e pode minar substancialmente as chances de sucesso, portanto, e de acordo com Kassem, Dawood e Mitchell (2011) uma visão geral das técnicas de modelagem existentes é indispensável.

De acordo com uma revisão sistemática da literatura sobre modelagem de empresas realizada na Scopus e na Web of Science com os termos “enterprise modeling” ou “enterprise modelling”, verificou-se que os principais métodos² para modelagem de empresas são: Architecture of Integrated Information Systems (ARIS), Business Process Modeling Notation (BPMN), Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture (CIMOSA), Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology (GERAM), Graphs with Results and Actions Inter-related (GRAI), Integration DEFinition (IDEF), Organizational Requirements Definition of Information Technology Systems (ORDIT), Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA), Structured Analysis and Design Technique (SADT), Unified Modelling Language (UML) e For Enterprise Modeling (4EM) .

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os principais métodos de modelagem de empresas (CARVALHO; GUERRINI, 2017; DAABOUL et al., 2014; GUERRINI; PELLEGRINOTTI, 2016; LAKHOUA; RAHMOUNI, 2011), visando apresentar se o método atende ou não os quesitos analisados, tidos como importantes para a modelagem de empresas.

Tabela 1 - Comparação entre os principais métodos de modelagem de empresas

² Uma descrição minuciosa destes métodos pode ser vista no artigo intitulado como “Modelagem de empresas do processo de adaptação empresarial ao paradigma das Indústrias 4.0: recorte analítico na visão de uma empresa fornecedora de tecnologias”, apresentado na terceira seção desta tese.

Método	Objetivo	Decisão	Atividade	Dados	Organização	Informações	Processo
ARIS	-	-	X	X	X	X	X
BPMN	X	-	-	X	X	X	X
CIMOSA	X	-	X	X	X	X	X
GERAM	X	X	-	X	-	X	-
GRAI	-	X	X	-	X	X	X
IDEF	-	-	X	X	-	-	X
ORDIT	-	-	X	X	X	X	-
PERA	X	X	X	X	X	X	-
SADT	-	-	X	-	-	-	X
UML	-	-	X	-	X	-	X
4EM	X	X	X	X	X	X	X

Com base na comparação apresentada na Tabela 1, para realizar a modelagem de empresas do projeto de desenvolvimento da abordagem Indústria 4.0 nas empresas, o método 4EM³ foi utilizado para a geração dos modelos.

1.4 Estrutura da tese

Para apresentar os resultados, esta foi desenvolvida por meio de três artigos, os quais abrangem o propósito da pesquisa. O primeiro artigo, intitulado como “Uma revisão integrativa da literatura sobre as Indústrias 4.0” visa apresentar uma conceituação, descrição dos elementos relacionados, princípios, benefícios e tendências futuras para o desenvolvimento das Indústrias 4.0.

O segundo artigo, intitulado como “Modelagem de empresas do processo de transformação digital das empresas para alcance do paradigma das Indústrias 4.0: recorte analítico na visão de uma empresa fornecedora de tecnologias” apresenta um modelo de empresas desenvolvido por meio de opinião de especialista que trabalha em uma empresa brasileira que fornece soluções baseadas em tecnologias da Indústria 4.0, uma das pioneiras no Brasil.

O terceiro artigo, intitulado como “Modelagem de empresas (*enterprise modeling*) do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0” apresenta um modelo de empresas desenvolvido por meio de opinião de 10 especialistas, sendo que 5 deles são professores universitários que têm publicados artigos sobre o tema em importantes congressos e periódicos indexados na Scopus e Web of Science, 3 são consultores em empresas brasileiras que implantam soluções baseadas na Indústria 4.0, 1 é

³ Uma descrição minuciosa do método 4EM pode ser vista no artigo intitulado como “Modelagem de empresas do processo de adaptação empresarial ao paradigma das Indústrias 4.0: recorte analítico na visão de uma empresa fornecedora de tecnologias”, apresentado na terceira seção desta tese.

consultor em uma empresa de treinamento e consultoria de funcionários, 1 é gestor em uma filial brasileira de uma multinacional alemã usuária de soluções relacionadas à Indústria 4.0.

1.5 Referências

ABREU, A.; MACEDO, P.; CAMARINHA-MATOS, L. M. Elements of a methodology to assess the alignment of core-values in collaborative networks. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 17, p. 4907-4934, 2009.

BERIO, G.; VERNADAT, F. B. New developments in enterprise modelling using CIMOSA. **Computers in Industry**, v. 40, n. 2-3, p. 99-114, 1999.

_____. Enterprise modelling with CIMOSA: functional and organizational aspects. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 12, n. 2, p. 128-136, 2001.

BERNARDES, E.; MUNIZ JÚNIOR, J.; NAKANO, D. N. **Pesquisa qualitativa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Atlas, 2019.

BERTONI, M. et al. PLM paradigm: how to lead BPR within the product development field. **Computers in Industry**, v. 60, n. 7, p. 476-484, 2009.

BIDER, I. et al. A fractal enterprise model and its application for business development. **Software & Systems Modeling**, v. 16, n. 3, p. 663-689, 2017.

BORTOLLOSI, L. N.; SAMPAIO, M. A produção acadêmica publicada na revista Gestão & Produção de 1999 a 2010: tendências e direções para pesquisas futuras. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p. 189-201, 2012.

BRAVI, Laura; MURMURA, Federica; SANTOS, Gilberto. Manufacturing Labs: where new digital technologies help improve life quality. **International Journal for Quality Research**, v. 12, n. 4, p. 957-974, 2018.

CALDERÓN, A.; RUIZ, M. A systematic literature review on serious games evaluation: an application to software project management. **Computers & Education**, v. 87, p. 396-422, 2015.

CAMARINHA-MATOS, L. M.; AFSARMANESH, H. Collaborative networks: a new scientific discipline. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 16, n. 4/5, p. 439-452, 2005.

CAMARINHA-MATOS, Luis M.; FORNASIERO, Rosanna; AFSARMANESH, Hamideh. Collaborative networks as a core enabler of industry 4.0. In: **Working Conference on Virtual Enterprises**. Springer, Cham, p. 3-17, 2017.

CANTAMESSA, M.; PAOLUCCI, E. Using organizational analysis and enterprise modelling in SMEs IDEF0 for. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 11, n. 5, p. 416-429, 1998.

CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C. Review, analysis and classification of the literature on QFD - types of research, difficulties and benefits. **International Journal of Production Economics**, v. 114, n. 2, p. 737-754, 2008.

CARVALHO, H. L.; GUERRINI, F. M. Reference model for implementing ERP systems: an analytical innovation networks perspective. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 28, n. 4, p. 281-294, 2017.

DAABOUL, J. et al. Value network modelling and simulation for strategic analysis: a discrete event simulation approach. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 17, p. 5002-5020, 2014.

DE LA FUENTE, M. V.; ROS, L.; ORTIS, A. Enterprise modelling methodology for forward and reverse supply chain flows integration. **Computers in Industry**, v. 61, n. 7, p. 702-710, 2010.

DING, K. et al. Analyzing the cyber-physical system-based autonomous collaborations among smart manufacturing resources in a smart shop floor. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, In Press, 2019.

DOUMEINGTS, G. et al. Production management and enterprise modelling. **Computers in Industry**, v. 42, n. 2-3, p. 245-263, 2000.

DUCQ, Y.; CHEN, D.; VALLESPER, B. Interoperability in enterprise modelling: requirements and roadmap. **Advanced Engineering Informatics**, v. 18, n. 4, p. 193-203, 2004.

GARCIA-MUIÑA, F. E. et al. Identifying the Equilibrium Point between Sustainability Goals and Circular Economy Practices in an Industry 4.0 Manufacturing Context Using Eco-Design. **Social Sciences**, v. 8, n. 8, p. 241, 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONZALEZ-PEREZ, M. A. et al. Virtual teams and international business teaching and learning: the case of the Global Enterprise Experience (GEE). **Journal of Teaching in International Business**, v. 25, n. 3, p. 200-213, 2014.

GUERRINI, F. M.; PELLEGRINOTTI, C. C. Reference model for collaborative management in the automotive industry. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 27, n. 3, p. 183-197, 2016.

HALLER, P.; GENGE, B. Using Sensitivity Analysis and Cross-Association for the Design of Intrusion Detection Systems in Industrial Cyber-Physical Systems. **IEEE Access**, v. 5, p. 9336-9347, 2017.

HAMADA, Tomomi. Determinants of Decision-Makers' Attitudes toward Industry 4.0 Adaptation. **Social Sciences**, v. 8, n. 5, p. 140, 2019.

KASSEM, M.; DAWOOD, N.; MITCHELL, D. A structured methodology for enterprise modeling: a case study for modeling the operation of a British organization. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 16, p. 381-410, 2011.

KHAN, S. U.; NIAZI, M.; AHMAD, R. Factors influencing clients in the selection of offshore software outsourcing vendors: an exploratory study using a systematic literature review. **The Journal of Systems and Software**, v. 84, n. 4, p. 686-699, 2011.

KIEL, D.; ARNOLD, C.; VOIGT, K-I. The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies - A business level perspective. **Technovation**, v. 68, p. 4-19, 2017.

KIRIKOVA, M. Explanatory capability of enterprise models. **Data & Knowledge Engineering**, v. 33, n. 2, p. 119-136, 2000.

KOUSSOURIS, S. et al. Transforming traditional production system transactions to interoperable eBusiness-aware systems with the use of generic process models. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 19, p. 5711-5727, 2010.

KUSIAK, A. Smart manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1-2, p. 508-517, 2018.

LAKHOUA, M. N.; RAHMOUNI, M. Investigation of the methods of the enterprise modeling. **African Journal of Business Management**, v. 5, n. 16, p. 6845-6852, 2011.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LIU, X. et al. Manufacturing perspective of enterprise application integration: the state of the art review. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 16, p. 4567-4596, 2008.

MA, J.; WANG, Q.; ZHAO, Z. SLAE-CPS: Smart Lean Automation Engine Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies. **Sensors**, v. 17, n. 7, p. 1-22, 2017.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; HUYNDMAN, R. J. **Forecasting: methods and applications**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

MARSHALL, C.; ROSSMAN, G. B. **Designing qualitative research**. 6. ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2014.

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MERTINS, K.; JOCHEM, R. Architectures, methods and tools for enterprise engineering. **International Journal of Production Economics**, v. 98, n. 2, p. 179-188, 2005.

MIGUEL, P. A. C.; SOUSA, R. O método do estudo de caso na engenharia de produção. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MIHARDJO, L. et al. Digital leadership role in developing business model innovation and customer experience orientation in industry 4.0. **Management Science Letters**, v. 9, n. 11, p. 1749-1762, 2019.

MOISESCU, M. A.; SACALA, I. S. Towards the development of interoperable sensing systems for the future enterprise. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 27, n. 1, p. 33-54, 2016.

MURGATROYD, I. S.; HODGSON, A.; WESTON, R. H. Enterprise modelling in support of business process visualization and improvement. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 212, n. 8, p. 621-633, 1998.

NEUBAUER, M. et al. Subject-orientation as design language for integration across organisational control layers. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 13, p. 3644-3656, 2017.

NGAI, E. W. T. et al. RFID research: an academic literature review (1995-2005) and future research directions. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 510-520, 2008.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Manual de Oslo**: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. Traduzido pela Financiadora de Estudos e Projetos/FINEP. 3. ed. Paris: OCDE, 2005.

PÁDUA, S. I. D. Estudo sobre a aplicação do método de avaliação do modelo de processos de negócio do EKD. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 155-172, 2012.

PICARD, W.; RABELO, R. J. Engagement in collaborative networks. **Production Planning & Control**, v. 21, n. 2, p. 101-102, 2010.

POSADA, J. et al. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 35, n. 2, p. 26-40, 2015.

POTYRAILO, R. A. Multivariable Sensors for Ubiquitous Monitoring of Gases in the Era of Internet of Things and Industrial Internet. **Chemical Reviews**, v. 116, n. 19, p. 11877-11923, 2016.

REN, G. et al. A Multi-Perspective Method for Analysis of Cooperative Behaviors Among Industrial Devices of Smart Factory. **IEEE Access**, v. 5, p. 10882-10891, 2017.

ROELEN, B.; STEENACKER, W.; POELS, G. Realizing strategic fit within the business architecture: the design of a process-goal alignment modeling and analysis technique. **Software & Systems Modeling**, v. 18, n. 1, p. 631-662, 2019.

ROMERO, D.; RABELO, R. J.; MOLINA, A. Collaborative networks as modern industrial organisations: real case studies. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 1/2, p. 1-2, 2013.

SAUCEDO-MARTÍNEZ, J. A. et al. Industry 4.0 framework for management and operations: a review. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 9, n. 3, p. 789-801, 2018.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalism, socialism, and democracy**. Nova York: Perennial Books, 2008.

SCHÜTZE, A.; HELWIG, N.; SCHNEIDER, T. Sensors 4.0 - smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. **Journal of Sensors and Sensor Systems**, v. 7, n. 1, p. 359-371, 2018.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, v. 60, p. 1146-1155, 2015.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual engineering process (VEP): a knowledge representation approach for building bio-inspired distributed manufacturing DNA. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 23, p. 7129-7142, 2016.

SISINNI, E. et al. Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, n. 11, p. 4724-4734, 2018.

TOH, K. T. K. The realization of reference enterprise modelling architectures. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 12, n. 5, p. 403-417, 1999.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2018.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012.

VERNADAT, F. B. Enterprise integration: on business process and enterprise activity modelling. **Concurrent Engineering: Research and Applications**, v. 4, n. 3, p. 219-228, 1996.

WANG, S. et al. Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 2016, p. 1-11, 2016.

WEICHHART, G. et al. Challenges and current developments for sensing, smart and sustainable enterprise systems. **Computers in Industry**, v. 79, p. 34-46, 2016.

WERNER, L. **Um modelo composto para realizar previsões de demanda através da integração da combinação de previsões e do ajuste baseado na opinião**. 2004. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

WHITMAN, M. E.; GIBSON, M. L. Enterprise Modeling for Strategic Support. **Information Systems Management**, v. 13, n. 2, p. 64-72, 1996.

ZAIDAT, A.; BOUCHER, X.; VINCENT, L. A. Framework for organization network engineering and integration. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, v. 21, n. 3, p. 259-271, 2005.

ZÜLCH, G.; RINN, A. Simulation-based performance analysis and benchmarking. **International Journal of Business Performance Management**, v. 1, n. 2, p. 200-218, 1999.

2. UMA REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA SOBRE AS INDÚSTRIAS 4.0

Resumo: As Indústrias 4.0 representam um tópico de relevância mundial cada vez mais difundido, pois facilita a visão, alcance e execução da filosofia de manufatura inteligente, a qual é caracterizada pela adaptabilidade, eficiência de recursos, ergonomia e integração de clientes e parceiros empresariais em processos de valor e de negócio. Este novo paradigma empresarial representa a integração e assimilação de conceitos como sistemas ciber-físicos, internet das coisas, internet de serviços, fabricação inteligente, manufatura em nuvem, auto-organização, responsabilidade social corporativa, dentre outros. Embora as Indústrias 4.0 sejam um tópico atual de grande prioridade para muitas empresas, centros de pesquisa e universidades, uma definição consolidada do termo ainda não existe. Visando preencher esta lacuna e com base em uma revisão integrativa da literatura, este artigo fornece uma conceituação, descrição dos elementos relacionados, princípios, benefícios e tendências futuras para o desenvolvimento das Indústrias 4.0. As contribuições de vários pesquisadores nesta área de pesquisa são apresentadas em um aspecto que servirá ao leitor como um referencial conceitual rápido, útil e consolidado.

Palavras-chave: Indústrias 4.0; Manufatura Inteligente; Tecnologia da Informação e Comunicação, Revisão Integrativa da Literatura.

2.1 Introdução

Em todo o mundo, esforços têm sido feitos para melhorar a produtividade e eficiência das indústrias e essa melhoria pode ser alcançada por meio da integração da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) com a manufatura (SHAFIQ et al., 2015).

Existe um movimento mundial em algumas das mais avançadas economias visando melhorar a produtividade e eficiência das indústrias por meio da TIC. Os governos nacionais e regionais estão desenvolvendo e lançando novas iniciativas e programas tais como as Indústrias 4.0 na Alemanha, Internet Industrial e Manufatura Avançada nos EUA, Made in China 2025 e Internet Plus na China e La Nouvelle France Industrielle na França (POSADA et al., 2015; WANG et al., 2016).

Dentre as iniciativas desenvolvidas, a Indústria 4.0 é a que vem obtendo maior destaque. Como uma tendência na indústria alemã e mundial, a Indústria 4.0 deve encurtar significativamente o ciclo de vida do desenvolvimento de novos produtos e fornecer uma solução para os crescentes requisitos da demanda do mercado (JOVANOVIĆ et al., 2015). De acordo com Prause (2016), as Indústrias 4.0 visam criar uma integração horizontal por meio de

redes de valor que abranjam modelos de negócios seguros, cooperativos, abertos e que integrem todos os *stakeholders* de cadeias internacionais de suprimentos, os quais incluem clientes, funcionários, acionistas, credores, fornecedores, administração da empresa e autoridades públicas. Tais modelos de negócios não devem negligenciar as necessidades dos empreendedores e das pequenas e médias empresas (PRAUSE, 2016). A meta das Indústrias 4.0 é alcançar a filosofia da manufatura inteligente, a qual é caracterizada pela adaptabilidade, eficiência de recursos, ergonomia e integração de clientes e parceiros empresariais em processos de valor e de negócio (SHAFIQ et al., 2016b).

O termo Indústria 4.0 foi introduzido pela primeira vez em 2011, quando um conjunto de recomendações foi apresentado ao governo alemão pelo Grupo de Trabalho sobre Indústrias 4.0 (TUOMINEN, 2016). Oficialmente, a iniciativa Indústria 4.0 foi apresentada na Alemanha em 2012, durante a Hannover Fair (PFEIFFER et al., 2016). Espera-se que as Indústrias 4.0 tenham um grande efeito sobre a economia global em um curto período (FRAGA-LAMAS et al., 2016). Embora a Suíça seja o país mais bem preparado para enfrentar os desafios impostos pelas Indústrias 4.0, a Alemanha é o país que tem maior potencial para alcançar este paradigma no mundo (GENTNER, 2016). De acordo com um *survey* da PWC, 50% das empresas alemãs planejam estar ligadas em rede e 20% já estão envolvidas na filosofia das Indústrias 4.0 (IVANOV et al., 2016). Um relatório conjunto do Instituto Fraunhofer e a associação industrial Bitkom afirma que o PIB alemão pode ter um aumento de 267 bilhões de dólares até 2025 com a introdução das Indústrias 4.0 (LEE; BAGHERI; KAO, 2015). O *survey* global das Indústrias 4.0 elaborado em 2016 pela PWC afirmou que espera-se ter um investimento anual de 907 bilhões de dólares até 2020; e, adicionalmente, os participantes afirmaram que tal investimento levará a uma receita anual de 493 bilhões de dólares e economia anual de 421 bilhões em custos e ganhos de eficiência (FRAGA-LAMAS et al., 2016). A Indústria 4.0 será aplicada em muitas indústrias tais como a automobilística, siderúrgica, de construção naval, têxtil, leve, de metais não-ferrosos, eletrônica, fabricação de máquinas, dentre outras; porém, é na indústria automobilística que os melhores projetos práticos relacionados à Indústria 4.0 serão aplicados (ZHOU; LIU; LIANG, 2016).

As Indústrias 4.0 recentemente têm atraído crescente interesse de pesquisadores, governantes, empresários e desenvolvedores de aplicativos, pois elas permitem a redução no consumo de energia, aumento dos benefícios econômicos e produção inteligente (LI et al., 2017a). As abordagens e ideias no contexto da Indústria 4.0 são situadas na interface das disciplinas de engenharia elétrica, administração de negócios, ciência da computação,

engenharia de negócios, sistemas de informação, engenharia mecânica e todos os demais segmentos participantes (LASI et al., 2014).

Conforme Götz e Jankowska (2017), Terrazas, Ferry e Ratchev (2019) afirmam, não existe uma definição específica e clara sobre o termo Indústria 4.0, mas sim uma ampla gama de tecnologias interdisciplinares que possuem diferentes níveis de maturidade e disponibilidade de mercado e que facilitam a digitalização, automação e integração de processos ao longo de cadeias de valor. Lasi et al. (2014) e Uhlmann, Hohwieler e Geisert (2017) apontam que a Indústria 4.0 refere-se a uma ampla gama de conceitos que ainda não está bem definida. Kymäläinen et al. (2017) afirmam que uma compreensão comum dos termos é necessária para uma discussão científica do tópico. Assim, com base nestas afirmações e sua crescente relevância, o objetivo deste artigo é apresentar uma compreensão conceitual das Indústrias 4.0, com base em uma revisão integrativa da literatura, a fim de fornecer ao leitor uma compreensão ampla do termo, embasada em fontes de pesquisa confiáveis.

2.2 Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste artigo tem como objetivo obter resultados capazes de apoiar a construção de um melhor conhecimento sobre as Indústrias 4.0. A revisão integrativa da literatura, como um tipo específico de revisão de literatura é apropriada para o desenvolvimento deste artigo. Este método de pesquisa caracteriza-se pela apresentação de uma abordagem metodológica extensiva em relação às revisões da literatura, pois, para a compreensão completa do fenômeno estudado, permite a inclusão de estudos desenvolvidos com diferentes métodos de pesquisa (KAKUSHI; ÉVORA, 2016). A revisão integrativa da literatura é útil para a definição de conceitos, geração de novos conhecimentos sobre o tópico revisado, revisão de teorias e evidências, e análise de problemas metodológicos de determinado campo de pesquisa (ANDERSEN; BATOVA, 2015; KAKUSHI; ÉVORA, 2016).

O desenvolvimento deste artigo seguiu as recomendações de Saunders, Lewis e Thornhill (2012), os quais conceituam a revisão de literatura como um ciclo adaptativo que envolve os processos de definição de palavras-chave relevantes, condução da busca bibliográfica e análise da literatura.

Considerando que é difícil ter uma clara distinção entre as publicações que têm alto nível de qualidade e as que não têm, e que nem todas as publicações têm o mesmo valor para os cientistas, este trabalho restringiu suas fontes às bases de dados bibliográficas Scopus e Web of Science. Elas foram selecionadas devido à sua ampla utilização e impacto na comunidade

acadêmica internacional (ROMO-FERNÁNDEZ et al., 2011). Justifica-se a escolha de artigos publicados exclusivamente em periódicos científicos devido ao fato de sua seleção e avaliação serem mais criteriosas que a seleção de congressos e simpósios (CARNEVALLI; MIGUEL, 2008), além de serem consideradas pesquisas de mais alto nível, tanto para coleta de informações, quanto para divulgação de novos resultados e descobertas (NGAI et al., 2008).

A Figura 1 apresenta a estrutura da metodologia utilizada para a orientação do levantamento bibliográfico dos artigos.

Figura 1 - Procedimentos realizados para o levantamento bibliográfico utilizado neste artigo

Fonte: Adaptado de Villas, Soares e Russo (2008).

Tendo em vista o objetivo deste artigo, para selecionar as publicações de interesse, foi pesquisado por meio do título, resumo e palavras-chave, sem restrição ao período de publicação, o termo “Industr* 4.0”. Em seguida, após leitura minuciosa do tema nos artigos, para explicitar melhor os conceitos correlatos, a busca bibliográfica foi expandida para abrangê-los. Então, os seguintes termos foram pesquisados: “Internet of Thing*”, “Cyber-physical System*”, “Internet of Service*”, “Industrial Revolution”, “Intelligent Manufacturing”, “Self-organization”, “Corporate Social Responsibilit*”, “3D Printing”, “Additive Manufacturing”,

“Robot*”, “Blockchain”, “Cloud Computing”, “Big Data”, “Augmented Reality”, “Virtual Reality”, “Cybersecurity”, “Interoperabilit*”, “Virtuali?ation”, “Decentrali?ation”, “Real-time capacit*”, “Service Orientation” e “Modularit*”. É importante ressaltar que os limites da busca foram definidos para selecionar apenas artigos publicados em revistas de texto completo, revisados por pares e escritos em inglês.

2.3 Visão geral das fases da revolução industrial e das Indústrias 4.0

De acordo com Siemieniuch, Sinclair e Henshaw (2015), o mundo está entrando na quarta geração da manufatura, ou quarta revolução industrial. Tal revolução ultrapassará as fronteiras existentes das operações industriais para entregar uma nova geração de sistemas de manufatura inteligentes, cooperantes e interconectados, sendo capazes de monitorar em tempo real o desempenho do sistema para controlar os custos, reduzir o tempo ocioso e prevenir as falhas (GIANNETTI; RANSING, 2016).

A primeira revolução teve início na Grã-Bretanha em 1764 com a invenção do tear mecânico (MONOSTORI et al., 2016) e foi de caráter técnico, sendo caracterizada pela introdução do vapor e da produção mecânica (KANG et al., 2016; LASI et al., 2014), o que fez a eficiência das fábricas aumentar grandemente e possibilitou o surgimento das indústrias de aço, automobilística, metalúrgica e siderúrgica (KRAWCZYŃSKI et al., 2016).

Em 1913, a apresentação da primeira linha de montagem da Ford marcou o início da segunda revolução industrial (MONOSTORI et al., 2016). Esta revolução foi de caráter organizacional, e com ela houve a introdução das peças padronizadas, energia elétrica, produção em massa e especialização das tarefas (KANG et al., 2016; LASI et al., 2014).

A terceira revolução industrial iniciou-se em 1968 e foi de caráter técnico, sendo marcada pelo advento da tecnologia de informação e eletrônica (CHUNG; KIM, 2016; KANG et al., 2016; LASI et al., 2014; MONOSTORI et al., 2016).

A quarta revolução industrial possui caráter organizacional e envolve a internet das coisas, internet de serviços, impressão 3D, *big data*, análise de dados, sistemas ciber-físicos, manufatura sustentável, manufatura aditiva, comunicação inteligente de máquina a máquina, computação em nuvem, realidade aumentada, robótica e significativa autonomia (KANG et al., 2016; LIU et al., 2017; PRAUSE, 2015; SIEMIENIUCH; SINCLAIR; HENSHAW, 2015). É importante destacar ainda que na quarta revolução industrial os trabalhos serão menos centralizados e mais fluidos, virtualizados, internacionalizados e orientados a projetos (WAHL, 2015).

A Indústria 4.0 é vista como a quarta revolução industrial, pois possui todos os aspectos necessários para facilitar a manufatura inteligente e processos logísticos (PRAUSE, 2016). Para alcançar a quarta revolução industrial, os Estados Unidos, Japão, China, Brasil, Rússia, Índia, Coreia do Sul e outros países europeus além da Alemanha têm apresentado diferentes versões das Indústrias 4.0, que diferem no conteúdo, mas cuja meta comum é alcançar o ajuste estrutural e modernização das empresas, fornecendo melhores serviços aos usuários (LIU et al., 2017).

De acordo com Shafiq et al. (2016b), a Indústria 4.0 é um importante conceito que promove a informatização e distribuição de unidades industriais tradicionais e seus ecossistemas em direção a um esquema de manuseamento de recursos conectado e sempre disponível por meio do uso de sistemas ciber-físicos. O conceito de Indústria 4.0 é baseado na interconexão e informatização das indústrias tradicionais (manufatureiras) para permitir que fábricas inteligentes e adaptáveis utilizem eficientemente recursos e integrem componentes e sistemas, a fim de alcançar o modo dinâmico de produção. Para alcançar tal propósito, a Indústria 4.0 utilizará a internet das coisas, internet de serviços e sistemas ciber-físicos dentro de sistemas industriais de produção (SEPULCRE; GOZALVEZ; COLL-PERALES, 2016). A Indústria 4.0 é uma estratégia que muda os métodos de produção da manufatura tradicional para a manufatura inteligente, sendo um modo de produção *down-to-up* (LIU et al., 2017).

De acordo com Li et al. (2017a), as redes industriais sem fio são a principal tecnologia que permite o desenvolvimento das Indústrias 4.0, pois permitem reduzir o custo e tempo necessários para a instalação e manutenção de cabos e maquinário, aumentam a flexibilidade e reconfigurabilidade de uma fábrica e permitem a conectividade de subsistemas móveis, dispositivos, robôs etc. (SEPULCRE; GOZALVEZ; COLL-PERALES, 2016). Já para Chen e Lin (2017), entre os fatores que permitem o desenvolvimento da Indústria 4.0 a impressão 3D é talvez o mais noticiado por causa do seu potencial de penetrar em cada aspecto de nosso cotidiano e o considerável crescimento que se espera que ela tenha no mercado.

No âmbito da Indústria 4.0, Frank, Dalenogare e Ayala (2019) dividem as tecnologias relacionadas em seis objetivos principais: (1) integração vertical, (2) virtualização, (3) automação, (4) rastreabilidade, (5) flexibilidade e (6) gestão de energia. Na integração vertical tem-se os sensors, atuadores e Programmable Logic Controllers (PLC); Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA); Manufacturing Execution System (MES); Enterprise Resources Planning (ERP); e Machine-To-Machine (M2M). Na virtualização estão incluídos o comissionamento virtual; simulação de processos; e inteligência artificial para manutenção preditiva e para planejamento da produção. Na automação tem-se a comunicação de máquina a máquina; robôs (por exemplo, robôs industriais, veículos autônomos guiados ou similares); e

identificação automática de não conformidades na produção. Na rastreabilidade, podem ser citadas a identificação e rastreabilidade de matérias-primas e produtos. Na flexibilidade, tem-se a impressão 3D e as linhas flexíveis e autônomas. E por fim, na gestão de energia tem-se o sistema de monitoramento e o sistema de melhoria da eficiência energética.

A Indústria 4.0 visa assegurar a localização de fabricação de alta tecnologia, trabalho e bem-estar a pessoas em uma certa região para gerar a vantagem competitiva. Esta estratégia organizacional diz respeito a projeto, manufatura, operação e dimensão do serviço da indústria manufatureira, incluindo a dimensão do produto, dos serviços e da empresa, bem como os níveis operacional, estratégico e ambiental (GERLITZ, 2016). A questão da sustentabilidade tem grande importância no âmbito das Indústrias 4.0, pois seus avanços metodológicos baseados em análise contínua e sensorização de linhas de manufatura tornam possível projetar e desenvolver sistemas integrados para mensuração e verificação dos impactos das medidas de conservação de energia implantadas em plantas industriais (OSES et al., 2016).

2.4 Conceitos fundamentais relacionados com as Indústrias 4.0

Segundo Shafiq et al. (2016a), as Indústrias 4.0 combinam máquinas, sistemas, produção e processos inteligentes para formar uma rede sofisticada, enfatizam a ideia de digitalização consistente e ligação de todas as unidades produtivas em um *set-up* de fabricação e criam uma virtualização de mundo real em um grande sistema de informação. De acordo com Lasi et al. (2014), o mercado atual é um mercado de compradores, em que as necessidades do usuário tendem a ser mais diversificadas e personalizadas, e as demandas perceptivas dos usuários de produtos são cada vez mais importantes no processo de projeto inovador. Neste contexto, a distribuição e aquisição serão cada vez mais individualizadas, os processos conectados serão manuseados usando vários e diversos canais, o desenvolvimento de produtos e serviços será personalizado, e as abordagens de inovação aberta, inteligência do produto e memória do produto terão grande importância. É uma tendência global que os novos sistemas de manufatura sejam projetados para seguir as necessidades humanas.

Segundo Wilkesmann e Wilkesmann (2018), o entendimento da Indústria 4.0 é baseado nas disciplinas de ciência da computação, engenharia, ciência política, sociologia e economia, o que impede uma definição uniforme. Para Buer, Strandhagen e Chan (2018), pesquisadores e profissionais têm opiniões diferentes sobre quais elementos compõem a Indústria 4.0, como esses elementos se relacionam entre si e onde a Indústria 4.0 é aplicável.

Dentre tantos outros conceitos diversos propostos por muitos autores, e analisando os mais recorrentes, nesta pesquisa verificou-se que tais organizações devem ser uma integração e assimilação de conceitos como fabricação inteligente, sistemas ciber-físicos, internet das coisas, internet de serviços, auto-organização, responsabilidade social corporativa, impressão 3D, robótica, *blockchain*, computação em nuvem, *big data*, realidade aumentada e *cybersecurity*. Uma descrição de tais conceitos é apresentada a seguir.

2.4.1 Fabricação inteligente

Um sistema de fabricação inteligente é caracterizado por detecção, interconexão, colaboração, aprendizagem, análise, cognição, tomada de decisão, controle e execução de homens, máquinas, materiais, meio ambiente e informações autônomas em todo o sistema e ciclo de vida (LI et al., 2017b). Na fabricação inteligente a manufatura será completamente equipada com sensores, atores e sistemas autônomos e com o uso de tecnologia inteligente relacionada a modelos de produtos e fábricas digitalizados holisticamente, as fábricas são controladas de maneira autônoma (LASI et al., 2014).

Os serviços móveis e a tecnologia de computação em nuvem podem ser usados para atender às demandas personalizadas de fabricação e formar o mecanismo de otimização da tomada de decisão na Indústria 4.0 (WANG; CHEN; LIU, 2017). A produção inteligente (principalmente relacionada à gestão da logística de produção por toda a empresa, interação homem-computador e aplicação de tecnologia 3D/4D em processos industriais) forma uma cadeia industrial ligada em rede altamente flexível e personalizada (LIU et al., 2017). Já a logística inteligente evoluiu principalmente por meio do uso da internet, internet das coisas e rede para integrar recursos logísticos com o propósito de aumentar sua eficiência tanto do lado da demanda, quanto do lado do suprimento, para assim, obter rapidamente bons serviços para o apoio logístico (LIU et al., 2017).

De modo geral, um sistema de fabricação inteligente consiste em uma camada de recursos/capacidades, uma camada de rede onipresente, uma plataforma de serviço, uma camada de aplicação inteligente de serviço em nuvem, bem como um sistema de gerenciamento de segurança e especificação de padrões (LI et al., 2017b).

2.4.2 Sistemas ciber-físicos

Sistemas ciber-físicos referem-se à integração entre os vários sistemas físicos (tais como torno mecânico, torno de Controle Numérico Computadorizado (CNC), fresadora e outros equipamentos) e uma unidade central de processamento, o que torna todo o arranjo na fábrica adaptável (KAMBLE; GUNASEKARAN; DHONE, 2019).

Nos sistemas ciber-físicos os níveis físico e digital combinam-se. Se isso abrange tanto o nível de produção quanto o dos produtos, emergem sistemas cuja representação física e digital não pode mais ser diferenciada de maneira razoável (LASI et al., 2014). Os sistemas ciber-físicos integram instalações de produção, sistemas de armazenamento, logística e requisitos sociais para estabelecimento de redes globais de criação de valor (SNÁŠEL et al., 2017). Os sistemas ciber-físicos devem controlar paralelamente as redes físicas de componentes interconectados da infraestrutura e uma rede cibernética composta de controladores inteligentes e o controle é realizado por meio do uso de múltiplos sensores, atuadores, unidades de processamento de controle e dispositivos de comunicação (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Os sistemas ciber-físicos são estrutural e funcionalmente abertos. A abertura estrutural significa que eles podem incluir subsistemas colaborativos de escalas espaciais e de complexidade variáveis no tempo e no espaço. A abertura funcional implica que eles podem consistir em unidades (computadores, agentes, componentes, redes etc.) que podem entrar ou sair do sistema a qualquer momento (PENAS et al., 2017).

2.4.3 Internet das Coisas

A internet das coisas pode ser definida como uma infraestrutura dinâmica de rede global com capacidades de autoconfiguração baseadas em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis onde coisas físicas e virtuais possuem identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, bem como utilizam interfaces inteligentes e são perfeitamente integradas na rede de informações (UDEN; HE, 2017). A internet das coisas permite que coisas e objetos tais como RFID, sensores, atuadores e telefones celulares interajam entre si por meio de esquemas de endereçamento e cooperem com seus componentes inteligentes ao seu redor para alcançarem metas comuns (LASI et al., 2014).

A internet das coisas tem muitas características avançadas, tais como processamento inteligente, transmissão confiável, e inteira percepção (XING et al., 2017), e é por meio dela que é realizada a comunicação entre máquinas (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

Projetos industriais envolvendo internet das coisas têm sido desenvolvidos em áreas como agricultura, indústria de processamento de alimentos, monitoramento ambiental, vigilância de segurança, dentre outros (UDEN; HE, 2017). De acordo com o relatório de 2013 elaborado pela Gartner, espera-se que até 2020, 26 bilhões de dispositivos sem fio sejam conectados por meio da internet das coisas e que com isso, sejam gerados 1,9 trilhões de dólares na fabricação de produtos e fornecimento de serviços de internet das coisas, o que implicará em grande crescimento econômico e geração de empregos (FERNANDEZ-GAGO; MOYANO; LOPEZ, 2017). Já a Cisco prevê que 500 bilhões de dispositivos sejam conectados à internet até 2030 (GRIFFITHS; OOI, 2018), e a Accenture estima que a internet industrial das coisas pode acrescentar 14,2 trilhões de dólares à economia global até 2030 (TURCU; TURCU, 2018).

2.4.4 Internet de serviços

A internet de serviços consiste em participantes, uma infraestrutura para serviços, modelos de negócios e serviços em si. Na internet de serviços, os usuários estão envolvidos por muitos dispositivos conectados e serviços remotos com potencial para a interação em tempo real (BALADRÓN et al., 2012). Os serviços são oferecidos e combinados em serviços de valor acrescentado por vários fornecedores, são comunicados a usuários e consumidores e são acessados por eles por meio de vários canais (LASI et al., 2014).

Segundo Moreno-Vozmediano, Montero e Llorente (2013), o principal objetivo da internet de serviços consiste em apresentar tudo na internet como um serviço, incluindo *softwares*, plataformas para desenvolver e entregar essas aplicativos e infraestruturas subjacentes (CPUs, armazenamento, redes etc.). Por meio da internet de serviços, tanto os serviços internos quanto os serviços interorganizacionais são oferecidos e usados (SACKEY; BESTER, 2016). Espera-se que a internet de serviços tenha um grande impacto não só nos cenários empresariais, mas também no avanço dos procedimentos e serviços da administração pública (MASTROIANNI; PAPUZZO, 2014).

2.4.5 Auto-organização

Atualmente, os sistemas de manufatura existentes estão se tornando cada vez mais descentralizados, e isso veio junto com uma decomposição da hierarquia clássica de produção e uma mudança em direção à auto-organização descentralizada (LASI et al., 2014). A auto-organização tem sido uma ideia generalizada no pensamento científico, com um tema de

inquérito de longa data em diferentes campos do conhecimento (ANZOLA; BARBROOK-JOHNSON; CANO, 2017).

A auto-organização é um conceito que permite que sistemas formados por muitos subsistemas funcionem de forma autônoma para realizar uma tarefa em grupo, sendo que sistemas auto-organizados demonstram um comportamento geral que dificilmente pode ser previsto ou pré-programado de forma escalável (GIUNTINI; BEDER; UHEYAMA, 2017).

O processo de auto-organização, em essência, torna o sistema robusto e resiliente para as perturbações externas, e também enriquece a adaptabilidade do sistema criando uma trilha de memória (CHATTERJEE; GEORGIEV; IANNACCHIONE, 2017). Os sistemas tecnológicos gerais organizam-se por comandos externos, como as intenções humanas que levam à construção de máquinas e estruturas; já os sistemas auto-organizados estruturam-se por meio de seus próprios processos internos, nos quais o surgimento da ordem em si é um evento complexo que intriga cientistas de diferentes campos (GIUNTINI; BEDER; UHEYAMA, 2017).

2.4.6 Responsabilidade social corporativa

A sustentabilidade e a eficiência no uso de recursos estão cada vez mais no foco do projeto de processos industriais de manufatura. A responsabilidade social corporativa é uma estratégia de autorregulação empresarial que encoraja a gestão de atividades sociais em organizações e propõe que as empresas detenham responsabilidades para um grupo mais amplo de *stakeholders*, em conjunto com suas tradicionais responsabilidades financeiras (PANDA et al., 2017).

Para Ağan et al. (2016), a responsabilidade social corporativa está embasada em cinco pilares, estando eles relacionados ao ambiente, mídia, funcionários, clientes e organizações não-governamentais. De acordo com Zhang e Wang (2017), a responsabilidade social corporativa é relacionada a certas atividades da empresa, tais como proteção ambiental (podem-se citar ações como reciclagem ou remodelagem do produto usado), gerenciamento da emissão de poluentes (por exemplo, lixiviação de chumbo ou cádmio), dentre outras.

Segundo Reverte, Gómez-Melero e Cegarra-Navarro (2016), a responsabilidade social corporativa visa tornar as atividades e a cultura empresarial sustentáveis nos aspectos econômico, social e ecológico. O aspecto econômico considera os impactos econômicos diretos e indiretos que as operações da organização têm sobre a comunidade e partes interessadas da empresa; a dimensão social refere-se à obrigação da administração de fazer escolhas e tomar ações que contribuam para o bem-estar e os interesses da sociedade como um todo; e a dimensão

ecológica trata das ações empreendidas pela empresa para preservar o meio ambiente (REVERTE; GÓMEZ-MELERO; CEGARRA-NAVARRO, 2016).

2.4.7 Impressão 3D

A impressão 3D (também conhecida como manufatura aditiva) é uma das tecnologias mais fascinantes e robustas, devido ao seu progresso e impacto muito rápidos em vários setores industriais, o que promove a transferência de tecnologia e aplicações de patentes (CINAT; PAGGI; GNECCO, 2019). Segundo Braccini e Margherita (2019), a impressão 3D permite que objetos físicos customizados de alta qualidade sejam produzidos com adição de material, evitando a remoção mecânica de material de um bloco sólido; e pode ser usada com uma ampla gama de diferentes materiais (por exemplo, plásticos, metais, materiais compósitos).

Por meio da flexibilidade e customização, a impressão 3D é essencial para o paradigma das Indústrias 4.0, pois facilitará a produção de lotes ou protótipos de baixo volume, que tradicionalmente são caros (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2018). A impressão 3D pode apoiar a fabricação inteligente por meio da maior velocidade de produção, liberdade de projeto de fabricação, redução da cadeia de suprimentos, prototipagem rápida e experimentos de produção em pequena escala (GHOBAKHLOO, 2018).

2.4.8 Robótica

De acordo com Braccini e Margherita (2019), robôs são dispositivos que podem executar gestos ou movimentos de maneira autônoma ou de forma colaborativa com os seres humanos, podem ser representados por braços mecânicos ou máquinas automáticas, e são projetados e programados para realizar quaisquer tarefas desejadas de manipulação (como por exemplo a modelagem, soldagem, fixação, fiação etc.).

Há uma demanda crescente por robôs colaborativos para melhorar a eficiência dos processos industriais e impulsionar a Indústria 4.0 e o desafio para esses robôs é o cumprimento das normas de segurança para proteger os funcionários de ferimentos (GEIGER; WALDSCHMIDT, 2019).

A próxima geração de robôs que será usada em aplicações da Indústria 4.0 inclui *cobots* (robôs colaborativos), robôs industriais e Autonomous Ground Vehicles (AGVs) ou veículos terrestres autônomos (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2018). Os *cobots* ajudam os funcionários empresa em diversas tarefas; os robôs industriais podem executar certas

tarefas específicas, como pesquisar itens ou transportar ferramentas de maneira autônoma.; ao passo que os AGVs são direcionados principalmente para a logística e transporte em ambientes industriais.

2.4.9 Blockchain

A *blockchain* é originada do Bitcoin e possibilita a criação de aplicativos descentralizados capazes de rastrear e armazenar transações realizadas simultaneamente por uma grande quantidade de usuários e dispositivos (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2019).

Como uma das mais recentes tecnologias que podem beneficiar a indústria, a *blockchain* pode aumentar a segurança de dados, privacidade, anonimato, rastreabilidade, responsabilidade, integridade, robustez, transparência, confiabilidade e autenticação, além de proporcionar sustentabilidade a longo prazo e maior eficiência operacional para toda a indústria (FRAGA-LAMAS; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, 2019).

A tecnologia *blockchain* é frequentemente mencionada como um facilitador potencial para contratação eficiente em ambientes produtivos com parceiros de produção ou fornecimento variados, e pode ser usada para permitir o gerenciamento descentralizado da resposta às demandas (FRITZSCHE; NIEHOFF, BEIER, 2018).

A comunidade científica acredita que a tecnologia *blockchain* é fundamental para a Indústria 4.0 porque criptomoedas permitem que inúmeros dispositivos inteligentes realizem transações financeiras transparentes, seguras, rápidas e sem atrito, totalmente autônomas sem intervenção humana no ambiente de internet das coisas (GHOBAKHLOO, 2018). Em 2017, a Gartner previu que o valor agregado das tecnologias *blockchain* aumentará para pouco mais de 176 bilhões de dólares até 2025, e excederá 3,1 trilhões de dólares até 2030 (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2019).

2.4.10 Computação em nuvem

Para Braccini e Margherita (2019), a computação em nuvem é um conjunto de tecnologias que oferece às organizações recursos de infraestrutura de TI como um serviço através da Internet, e proporciona vantagens relacionadas à redução de custos, escalabilidade, flexibilidade, maior velocidade de serviço e fácil acessibilidade. A nuvem é baseada em um

local remoto, não no local onde as atividades de fabricação são realizadas (KAMBLE; GUNASEKARAN; DHONE, 2019).

As tecnologias de nuvem são consideradas uma ótima oportunidade para implementação de diferentes tipos de serviços de automação centrados em dados a custos reduzidos, mas a implantação de serviços relacionados a controle apresenta desafios significativos, pois o envio de dados entre a nuvem e a fábrica pela Internet pode resultar na perda de controle dos dados pelos proprietários legítimos (LUCAS-ESTAN, 2018).

Equipamentos de fabricação baseados em nuvem podem reconhecer, analisar e interpretar intenções de objetos, sistemas e usuários participantes no domínio da aplicação através de comunicação máquina a máquina e interfaces homem-máquina, o que permite a autoconsciência em relação ao conhecimento sobre sua situação, status e opções de ação a serem desenvolvidas (LU; XU, 2019).

2.4.11 Big data

A tecnologia *Big data* consiste na coleta de dados de sistemas e objetos, como leituras de sensores. Juntamente com a *analytics* (por exemplo, *data mining* e *machine learning*), é considerada um dos impulsionadores mais importantes da Indústria, devido à informação que pode gerar (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019). Tal informação é armazenada em servidores por meio de tecnologias de computação em nuvem e é analisada por *softwares* de *business intelligence*, *machine learning* e *analytics* (BRACCINI; MARGHERITA, 2019).

A adoção da tecnologia *big data* permite que os vendedores do comércio eletrônico façam em tempo real mudanças de preço de alta magnitude e proximidade (VICTOR et al., 2018). Geralmente, a análise de *big data* engloba quatro etapas. A primeira enfatiza a coleta de dados; a segunda envolve o pré-processamento de dados coletados, transformando de dados brutos no formato estruturado; a terceira faz uso de dados pré-processados por meio de inspeção e modelagem com o objetivo de descobrir informações úteis; e a última é onde as técnicas e os algoritmos são aplicados aos dados analisados para prever eventos futuros (TAO et al., 2018).

2.4.12 Realidade aumentada

De acordo com Nunes, Pereira e Alves (2017), a realidade aumentada (também conhecida como realidade virtual) é uma tecnologia que imerge completamente seus usuários

em um ambiente gerado por computador que consiste em uma visão de 360 graus de um mundo virtual e simulado.

A realidade aumentada é uma das tecnologias mais promissoras para manuais técnicos no contexto da Indústria 4.0 (GATTULLO et al., 2019). Por meio da realidade aumentada, informações adicionais sobre o mundo real podem ser adicionadas ao conteúdo de vídeo em telas digitais, e isso permite que funcionários recebam treinamento virtual aprimorado ou instruções de reparo objeto que precisa de reparo usando óculos de realidade aumentada (MATT, 2018).

A realidade aumentada terá um papel importante para apoiar os operadores do chão de fábrica no monitoramento de processos, recebimento de instruções passo a passo para tarefas específicas, ou suporte remoto, especialmente devido à alta flexibilidade e versatilidade das fábricas do futuro (LUCAS-ESTAN, 2018).

Sistemas baseados em realidade aumentada podem apoiar uma variedade de serviços (como por exemplo, a seleção de peças em um armazém e o envio de instruções de reparo em dispositivos móveis) para fornecer aos funcionários informações em tempo real para melhorar a tomada de decisões e os procedimentos de trabalho (WOGNUM et al., 2019).

Fraga-Lamas et al. (2018) afirmam que o uso de tecnologias de realidade aumentada deverá crescer significativamente nos próximos anos, criando um mercado de 80 bilhões de dólares em 2025.

2.4.13 Cybersecurity

A conectividade é essencial nas aplicações da Indústria 4.0, pois é necessário proteger os sistemas críticos industriais e as linhas de fabricação dos ataques cibernéticos, cujo impacto cresceu notavelmente nos últimos anos (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2018).

A *cybersecurity* é muito importante no âmbito da fabricação inteligente, pois alguns dos principais desafios para o sucesso da Indústria 4.0 estão na segurança e robustez dos sistemas de informação (SANTOS et al., 2017). Problemas como falhas de transmissão na comunicação máquina a máquina, ou mesmo eventuais “engasgos” do sistema podem causar interrupção na produção, e, com a conectividade, os sistemas também precisarão proteger o *know-how* da organização incorporado nos arquivos de controle de processamento.

De acordo com um relatório da Nasdaq, o mercado global de *cybersecurity* foi avaliado em 105,45 bilhões de dólares em 2015, e deverá crescer consideravelmente, atingindo 181,77 bilhões de dólares em 2021 (NAVICKAS; KUZNETSOVA; GRUZAUSKAS, 2017).

2.5 Princípios de projeto das Indústrias 4.0

Princípios de projeto apoiam as empresas na identificação de possíveis pilotos da Indústria 4.0, que podem então ser implementados (HUANG et al., 2017; LEE; BAGHERI; KAO, 2015; WANG et al., 2016). O Quadro 1 lista os princípios de projeto das Indústrias 4.0 consolidados na literatura e uma descrição de cada princípio é apresentada a seguir.

Quadro 1 - Princípios de projeto das Indústrias 4.0

Princípio	Autor(es)
Interoperabilidade	Barenji et al. (2019); Bertola e Teunissen (2018); Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019); Erkollar e Oberer (2018); Frank et al. (2019); Gattullo et al. (2019); Gerlitz et al. (2016); Horváth e Szabó (2019); Huang et al. (2017); Jovanović et al. (2015); Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018); Kuś e Pyplacz (2019); Lu (2017); Martín-Gómez, Aguayo-González e Luque (2019); Maslarić, Nikoličić e Mirčetić (2016); Modoni et al. (2019); Mohamed (2018); Mohamed, Al-Jaroodi e Lazarova-Molnar (2019); Mrugalska e Wyrwicka (2017); Nowotarski e Paslawski (2017); Sackey e Bester (2016); Sackey, Bester e Adams (2017); Santos et al.(2017a); Santos et al.(2017b); Shafiq et al. (2015); Srail e Lorentz (2019); Tao et al. (2016); Tortorella e Fettermann (2018); Trappey et al. (2016)
Virtualização	Barenji et al. (2019); Bertola e Teunissen (2018); Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019); Erkollar e Oberer (2018); Frank et al. (2019); Gattullo et al. (2019); Gerlitz et al. (2016); Horváth e Szabó (2019); Huang et al. (2017); Jovanović et al. (2015); Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018); Kuś e Pyplacz (2019); Lu (2017); Martín-Gómez, Aguayo-González e Luque (2019); Maslarić, Nikoličić e Mirčetić (2016); Modoni et al. (2019); Mohamed (2018); Mohamed, Al-Jaroodi e Lazarova-Molnar (2019); Mrugalska e Wyrwicka (2017); Nowotarski e Paslawski (2017); Sackey e Bester (2016); Sackey, Bester e Adams (2017); Santos et al.(2017a); Santos et al.(2017b); Shafiq et al. (2015); Srail e Lorentz (2019); Tao et al. (2016); Tortorella e Fettermann (2018); Trappey et al. (2016)
Descentralização	Barenji et al. (2019); Bertola e Teunissen (2018); Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019); Erkollar e Oberer (2018); Frank et al. (2019); Gattullo et al. (2019); Gerlitz et al. (2016); Huang et al. (2017); Jovanović et al. (2015); Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018); Kuś e Pyplacz (2019); Lu (2017); Martín-Gómez, Aguayo-González e Luque (2019); Maslarić, Nikoličić e Mirčetić (2016); Modoni et al. (2019); Mohamed (2018); Mohamed, Al-Jaroodi e Lazarova-Molnar (2019); Mrugalska e Wyrwicka (2017); Nowotarski e Paslawski (2017); Sackey e Bester (2016); Santos et al.(2017a); Santos et al.(2017b); Shafiq et al. (2015); Srail e Lorentz (2019); Strandhagen et al. (2017); Tao et al. (2016); Tortorella e Fettermann (2018); Trappey et al. (2016)
Capacidade em tempo real	Barenji et al. (2019); Bertola e Teunissen (2018); Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019); Erkollar e Oberer (2018); Frank et al. (2019); Gattullo et al. (2019); Gerlitz et al. (2016); Horváth e Szabó (2019); Huang et al. (2017); Jovanović et al. (2015); Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018); Kuś e Pyplacz (2019); Lu (2017); Martín-Gómez, Aguayo-González e Luque (2019); Maslarić, Nikoličić e Mirčetić (2016); Modoni et al. (2019); Mohamed (2018); Mohamed, Al-Jaroodi e Lazarova-Molnar (2019); Mrugalska e Wyrwicka (2017); Nowotarski e Paslawski (2017); Sackey e Bester (2016); Sackey, Bester e Adams (2017); Santos et al.(2017a); Santos et al.(2017b); Shafiq et al. (2015); Srail e Lorentz (2019); Tao et al. (2016); Tortorella e Fettermann (2018); Trappey et al. (2016)
Orientação ao serviço	Barenji et al. (2019); Bertola e Teunissen (2018); Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019); Dalenogare et al. (2018); Erkollar e Oberer (2018); Frank et al. (2019); Gattullo et al. (2019); Gerlitz et al. (2016); Ghobakhloo (2018); Horváth e Szabó (2019); Huang et al. (2017); Jovanović et al. (2015); Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018); Kuś e Pyplacz (2019); Lu (2017); Martín-Gómez, Aguayo-González e Luque (2019); Maslarić, Nikoličić e Mirčetić (2016); Modoni et al. (2019); Mohamed (2018); Mohamed, Al-Jaroodi e Lazarova-Molnar (2019); Mrugalska e Wyrwicka (2017); Nowotarski e Paslawski (2017); Sackey e Bester (2016); Sackey, Bester e Adams (2017); Santos et al.(2017a); Santos et al.(2017b); Shafiq et al. (2015); Srail e Lorentz (2019); Strandhagen et al. (2017); Tao et al. (2016); Tortorella e Fettermann (2018); Trappey et al. (2016)
Modularidade	Barenji et al. (2019); Bertola e Teunissen (2018); Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019); Erkollar e Oberer (2018); Frank et al. (2019); Gattullo et al. (2019); Gerlitz et al. (2016); Huang et al. (2017); Jovanović et al. (2015); Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018); Kuś e Pyplacz (2019); Lu (2017); Martín-Gómez, Aguayo-González e Luque (2019); Maslarić, Nikoličić e Mirčetić (2016); Modoni et al. (2019); Mohamed, Al-Jaroodi e Lazarova-Molnar (2019); Mrugalska e Wyrwicka (2017); Nowotarski e Paslawski (2017); Sackey e Bester (2016); Sackey, Bester e Adams (2017); Santos et al.(2017a); Santos et al.(2017b); Shafiq et al. (2015); Srail e Lorentz (2019); Tao et al. (2016); Tortorella e Fettermann (2018); Trappey et al. (2016)

2.5.1 Interoperabilidade

Na Indústria 4.0, a interoperabilidade sintetiza componentes de *software*, soluções de aplicativos, processos de negócio e o contexto comercial em todo procedimento diversificado, heterogêneo e autônomo (LU, 2017). De acordo com Lu (2017), a interoperabilidade da Indústria 4.0 precisa de princípios específicos para garantir o processo completo de precisão e eficiência; e segundo ele, a acessibilidade, disponibilidade em vários idiomas, segurança, privacidade, subsidiariedade, uso de padrões abertos, *softwares* livres e soluções multilaterais são apropriados para Indústrias 4.0 serem interoperáveis.

Segundo Lu (2017), a arquitetura da interoperabilidade da Indústria 4.0 inclui os níveis operacional (organizacional), sistemático (aplicável), técnico e semântico. A interoperabilidade operacional ilustra estruturas gerais de conceitos, padrões, linguagens e relacionamentos dentro de sistemas ciber-físicos e Indústria 4.0. A interoperabilidade sistemática identifica as diretrizes e princípios de metodologias, padrões, domínios e modelos. A interoperabilidade técnica articula ferramentas e plataformas para desenvolvimento técnico, sistemas de tecnologia de informação, ambiente de tecnologia de informação e comunicação e *softwares* relacionados. A interoperabilidade semântica é solucionada pela adoção de ferramentas comuns ou/e mapeáveis de representação da informação e garante troca de informações entre diferentes grupos de pessoas, pacotes de aplicativos e vários níveis de instituições (SAYÃO: MARCONDES, 2008). Esses quatro níveis de operação tornam a Indústria 4.0 e os sistemas ciber-físicos mais produtivos e econômicos (LU, 2017).

Nas Indústrias 4.0, os sistemas ciber-físicos e funcionários são conectados pela internet das coisas e internet de serviços (WANG et al., 2016). A internet das coisas oferece ao usuário interoperabilidade e conectividade contínua entre dispositivos, sistemas, serviços, redes diferentes e, em particular, sistemas de controle. Os usuários finais podem se conectar de forma rápida e transparente através de qualquer dispositivo ou sistema habilitado pela internet, seja ele um telefone, *tablet*, TV ou carro (CONDY; NELSON, 2016). Os padrões serão um fator-chave de sucesso para a comunicação entre sistemas ciber-físicos de vários fabricantes (WANG et al., 2016).

2.5.2 Virtualização

Nas Indústrias 4.0 a virtualização significa que os sistemas ciber-físicos são capazes de monitorar processos físicos, e os dados de sensores estão ligados a modelos de plantas virtuais e modelos de simulação (WANG et al., 2016). De acordo com Moreno et al. (2017), o processo de virtualização é dividido em modelagem em 3D das partes individuais da máquina e quaisquer outros elementos necessários; extração do comportamento da máquina e criação de uma representação do conhecimento; modelagem da interação entre os elementos móveis e sua integração à representação do conhecimento; modelagem das operações e processos; concepção e desenvolvimento de um simulador onde todos os elementos virtuais cooperam para trazer uma experiência virtual semelhante ao comportamento físico. Logo, uma cópia virtual do mundo físico é criada, e, em casos de ocorrência de falha, um funcionário pode ser notificado, bem como todas as informações necessárias são fornecidas, tais como as próximas etapas de trabalho ou medidas de segurança implantadas (WANG et al., 2016).

2.5.3 Descentralização

No âmbito das Indústrias 4.0, a descentralização é uma característica comum e que pode ser implementada por meio de um controle descentralizado da produção (MEISSNER; ILSSEN; AURICH, 2017). A crescente demanda por produtos individuais torna cada vez mais difícil o controle centralizado dos sistemas (WANG et al., 2016).

Em sistemas de produção descentralizados, o poder de decisão é deslocado em direção aos elementos do sistema, isto é, máquinas, produtos ou outros elementos no sistema podem tomar decisões por conta própria sem depender de nenhuma unidade superior de controle (MEISSNER; ILSSEN; AURICH, 2017). Computadores incorporados permitem que os sistemas ciber-físicos tomem decisões por conta própria, e, apenas em casos de falhas as tarefas são delegadas a um nível superior (WANG et al., 2016). Porém, para tomar decisões, é essencial que todos os elementos tenham acesso a informações relevantes, o que implica que os elementos em um controle de produção descentralizado devem comunicar-se entre si naturalmente, como em uma rede social (HOFMANN; RÜSCH, 2017; MEISSNER; ILSSEN; AURICH, 2017).

Sistemas multiagentes e sistemas holônicos de manufatura são adequados para realizar as soluções dos sistemas ciber-físicos, pois eles apoiam a descentralização completa e a distribuição das funções de controle de fabricação por entidades inteligentes autônomas e cooperativas, visando obter maior flexibilidade, agilidade e capacidade de resposta às mudanças de condição (LEITÃO; BARBOSA, 2016). Os sistemas multiagentes podem ser definidos como um grupo de agentes autônomos, interagindo entre si e compartilhando um mesmo

ambiente, que é percebido através de sensores, onde eles agem realizando ações (VLASSIS, 2007). Os sistemas holônicos são sistemas distribuídos de agentes inteligentes de manufatura (GAYED; JARVIS; JARVIS, 1998), definem um sistema complexo, flexível e reconfigurável e tem a autonomia e a cooperação como propriedades fundamentais para o alcance dos resultados (KOESTLER, 1969).

2.5.4 Capacidade em tempo real

A capacidade em tempo real tem grande importância na manufatura inteligente, pois é bastante desejável que os operadores e os gerentes possam acessar o desempenho da linha em tempo real e ser notificados de quaisquer problemas potenciais (XU et al., 2017). Em uma Indústria 4.0 com grande capacidade de dados, um melhor desempenho do controle de produção é desejável, devido à quantidade de informações em tempo real que deverá ser adotada para aumentar a qualidade da tomada de decisão (HSIEH; HUANG; CHEN, 2017).

Para tarefas organizacionais, é necessário que os dados sejam coletados e analisados em tempo real, para que a planta possa reagir à falha de uma máquina e redirecionar os produtos para outra máquina (WANG et al., 2016). Em uma linha de montagem de Indústrias 4.0, para rastrear seu desempenho em tempo real, é necessário que seu projeto seja capaz de destacar anomalias por meio de informações instantâneas, e associar dados ao contexto físico, ou seja, indicar visualmente nos modelos em 3D os componentes problemáticos (XU et al., 2017).

2.5.5 Orientação de serviço

Segundo Zghidi e Zaiem (2017), a orientação de serviço é a disposição do funcionário em ser útil, pensativo e cooperativo com os clientes. É particularmente importante ter a capacidade de estabelecer uma orientação de serviço entre os funcionários, porque esses atributos permitem que fabricantes e clientes se envolvam no processo de criação de valor (ZGHIDI; ZAIEM, 2017).

Na esfera industrial, a orientação de serviço fornece a abordagem governante para automatizar o negócio industrial e a lógica operacional, com *softwares* particionados em capacidades operacionais e projetados para resolver uma preocupação individual por meio de serviços de *software* (JARDIM-GONÇALVES; GRILO; POPPLEWELL, 2016).

Com a orientação de serviço, os serviços de empresas, sistemas ciber-físicos e funcionários estão disponíveis através da internet de serviços e podem ser utilizados por outros

participantes, sendo oferecidos tanto internamente, quanto além das fronteiras da empresa (WANG et al., 2016). Além de mudanças técnicas, a orientação de serviço também permite a obtenção de novos modelos de negócios baseados em pagamento por uso ou assinaturas, bem como processos flexíveis e atualizáveis de introdução de serviços instantaneamente, de acordo com os requisitos dos clientes (BAUER; STOCK; BAUERNHANSL, 2017). No âmbito industrial, como resultado, a operação de processos específicos de produtos pode ser composta com base nos requisitos específicos do cliente que são fornecidos por etiquetas RFID (WANG et al., 2016). Kohtamaki et al. (2015) afirmam que a orientação de serviço melhora o desempenho comercial de empresas industriais por meio de melhores níveis de serviço e assistência técnica, redução no preço dos serviços e forte relacionamento com clientes.

2.5.6 Modularidade

Segundo Belkadi et al. (2016), a modularidade representa a decomposição de um sistema em partes independentes (módulos) que podem ser tratadas como unidades lógicas. O conceito de modularidade pode ser usado também para representar a integridade do conhecimento como um acúmulo de diferentes fragmentos reutilizáveis, disponíveis no início de um novo projeto de desenvolvimento (BELKADI et al., 2016). Os sistemas modulares possuem a capacidade de adaptação flexível às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo os módulos individuais, e podem ser facilmente ajustados em caso de flutuações sazonais ou alterações nas características do produto (WANG et al., 2016). Assim como a escalabilidade, conversibilidade, integrabilidade e diagnóstico, a modularidade é um dos componentes essenciais para que sistemas ciber-físicos de produção sejam adaptáveis e responsivos com às mudanças de requisitos em produtos (ELMARAGHY et al., 2017; FRANCALANZA; BORG; CONSTANTINESCU, 2017). De acordo com Buchholz, Kind e Stark (2017), os benefícios da modularidade incluem a facilidade de atualização do produto, o aumento da variedade de produtos, a diminuição do tempo de entrega do pedido e a facilidade de projeto e teste, e segundo Gentile (2013), eles são mais visíveis na fabricação, integração, teste e manutenção de sistemas complexos.

2.6 Arquiteturas de referência para as Indústrias 4.0

As principais abordagens tecnológicas da indústria de automação estão sendo descritas por arquiteturas de referência de diferentes organizações. Segundo Herzog, Jacoby e Žarko (2016), as mais influentes delas são provavelmente a Industrial Internet Reference Architecture

(IIRA), a Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0), a ISO/IEC Internet of Things Reference Architecture (IoT RA) e a Internet of Things - Architecture (IoT-A). Dentre estas arquiteturas, a RAMI 4.0 é a que vem obtendo mais destaque.

A RAMI4.0 propõe uma descrição de seis camadas de funções que diferem em perspectivas e níveis de controle encontrados em um sistema de fabricação (MOGHADDAM et al., 2018):

- Camada de negócios: funções que mapeiam modelos/processos de negócios, definem regras e regulamentos e orquestram serviços;
- Camada funcional: funções que descrevem, modelam e integram formalmente serviços;
- Camada de informações: funções que suportam pré-processamento de eventos, execução de regras, análise de dados e garantia de qualidade;
- Camada de comunicação: funções que dão suporte à comunicação e fornecem serviços de controle;
- Camada de integração: funções que fornecem informações sobre ativos e permitem controle auxiliado por computador, geração de eventos, conectividade e virtualização de componentes;
- Camada de ativos: funções que são executadas fisicamente por um componente da Indústria 4.0 ou virtualizam o componente.

2.7 Benefícios da consolidação das Indústrias 4.0

As características técnicas avançadas sugerem que a fábrica inteligente exhibe um paradigma de produção atraente e promissor. A Indústria 4.0 leva a muitos resultados benéficos que podem lidar com os desafios globais no sentido de que os produtos personalizados podem ser produzidos de forma eficaz, eficiente e rentável. De acordo com Wang et al. (2016), dentre estes, podem-se citar a flexibilidade, produtividade, eficiência energética e de recursos, transparência, promoção da integração, lucratividade e interface amigável com os funcionários.

Com a flexibilidade, os artefatos inteligentes podem ser reconfigurados automaticamente para produzir vários tipos de produtos. Mesmo os novos produtos podem ser encomendados diretamente ao sistema. Isso ajuda a lidar com o mercado em constante mudança e discernir as exigências de consumo. A auto-organização e reconfiguração dinâmica também trazem robustez no sentido de que novas máquinas podem aderir ao sistema de forma *plug and*

play; e as máquinas de mau funcionamento não afetarão o sistema devido à redundância da máquina.

Em se tratando de produtividade, comparada à linha de produção tradicional, a fábrica inteligente pode produzir produtos de pequeno porte de diferentes tipos de forma mais eficiente. Por um lado, o tempo de configuração é minimizado ao alternar entre diferentes tipos de produtos. Por outro, como o processo de produção é otimizado com a ajuda de *feedback* e coordenação de *big data*, as rotas médias de fabricação são encolhidas e a taxa de utilização de máquinas e outros recursos é melhorada.

Em relação à eficiência energética e de recursos, baseado na análise de *big data*, pode-se estabelecer um conhecimento preciso do processo de produção e sistema de garantia com um nível de qualidade estável do produto e a taxa de produtos acabados. Assim, as matérias-primas necessárias podem ser determinadas antes da produção e a redundância do produto pode ser minimizada. Além disso, as máquinas inteligentes operam de forma mais inteligente permitindo a redução no consumo de energia. As medidas incluem economizar energia durante as pausas e utilizar mais novas tecnologias, tais como motores de velocidade controlada.

A tecnologia *big data* fornece informações completas, eficazes e em tempo real sobre todos os aspectos da fábrica inteligente, possibilitando uma forte transparência. Com base na análise *big data*, pode-se quantificar indicadores de desempenho relacionados a máquinas, produtos e sistemas. Isso permite tomar decisões precisas e eficazes mais rapidamente. Isso também pode facilitar o plano de produção e acelerar a resposta à pesquisa de mercado. Quando a capacidade de produção da fábrica inteligente não pode satisfazer uma determinada ordem do produto, as perguntas sobre como melhorar o sistema também podem ser facilmente respondidas.

A integração vertical de subsistemas hierárquicos leva à fábrica inteligente, que por sua vez apoia a integração horizontal por meio de redes de valor e integração digital de ponta a ponta de engenharia. Assim, a fábrica inteligente estabelece uma base sólida para uma maior integração e colaboração, ou seja, a implementação da Indústria 4.0. Com base nessa rede de colaboração global, os consumidores, atividades de projeto, fabricação e logística podem interagir acima da nuvem. Isso proporcionará um paradigma de produção sustentável, que também tem um profundo impacto no estilo de vida, cultura e organização social.

Em relação à lucratividade considera-se primeiro o custo do investimento inicial e depois o custo operacional. O investimento adicional refere-se principalmente às redes sem fio industriais, nuvem e novos sistemas de informação em comparação com as linhas de produção tradicionais. Baseado na Lei de Moore, o custo das tecnologias de informação diminuirá

constantemente enquanto o desempenho melhora continuamente. Para as demandas de pequeno lote e consumo personalizado, o custo operacional é bastante baixo em comparação com a linha de produção fixa por causa da flexibilidade e eficiência de recursos e energia. É apontado que mesmo os artigos *one-off* podem ser produzidos proveitosamente com a fábrica inteligente.

Contendo uma interface amigável com os funcionários, as máquinas funcionam automaticamente, de forma que nenhum trabalhador precisa executar tarefas rotineiras. Com a ajuda de análise *big data*, poderosas ferramentas de *software* e medidas de interface mais amigáveis e flexíveis, a manutenção e diagnóstico tornam-se muito mais fáceis. Mesmo pessoas de outros locais ao redor do mundo podem trabalhar em conjunto para realizar trabalhos de reparação a distância, uma vez que as pessoas e as máquinas podem interagir entre si através da nuvem.

Segundo Varela et al. (2019), a Indústria 4.0 pode acarretar benefícios nas esferas ambiental, econômica e social da sustentabilidade. Na esfera ambiental, este paradigma possibilita a redução do lixo industrial, consumo de recursos, consumo de energia de fontes de energia não renováveis e possibilita o aumento da produção de energia renovável, alcance da economia circular e a colaboração com parceiros que seguem boas práticas ambientais. Na esfera econômica, a iniciativa promove o aumento de lucros, criação de valor, eficiência, flexibilidade, competitividade, diminuição de custos operacionais e criação de novos modelos de negócios; melhora a participação dos produtos no mercado, e o desempenho dos processos produtivos segurança e da gestão de cadeias de suprimentos. Na esfera social, a Indústria 4.0 aumenta a participação dos funcionários na tomada de decisões e suas condições de trabalho, melhora as condições da sociedade envolvente, diminui os acidentes de trabalho e aumenta a colaboração entre os *stakeholders*.

2.8 Desafios e futuras tendências no desenvolvimento das Indústrias 4.0

No contexto da Indústria 4.0, a integração horizontal e vertical dos processos de negócios e tecnológicos nas e entre empresas representa a base da transformação digital (MÜLLER; HOPF, 2017). A transformação digital lida com o caminho transformacional das fábricas em direção às fábricas inteligentes e trata como as empresas devem formular visões, definir estados futuros adequados e organizar mudanças transformacionais dentro da fábrica (OSTERRIEDER; BUDDE; FRIEDLI, 2019). Horváth e Szabó (2019) afirmam que existe

pouca literatura sobre a questão de como os gerentes devem abordar e lidar com a transformação digital e implementar estratégias relacionadas.

No âmbito da Indústria 4.0, os produtos e serviços serão cada vez mais customizados, o que aumenta sua complexidade. Com essa complexidade, nem todas as cadeias de valor podem ser atendidas por recursos internos; portanto, a colaboração com as partes interessadas é a colaboração mais importante para acelerar o processo e inovar o modelo de negócios para permitir o desenvolvimento conjunto (MIHARDJO et al., 2018).

Shamim et al. (2017) afirmam que os principais desafios para as empresas no ambiente da Indústria 4.0 são a customização em massa; flexibilidade nos processos produtivos; produção enxuta; eficiência e eficácia na gestão da cadeia de suprimentos, gestão de produtos e tempo de resposta ao cliente; recebimento instantâneo de informações sobre necessidades e desejos dos clientes; ambiente de trabalho inteligente; e combinação adequada de produtos e serviços.

Segundo Prause (2016), para a consolidação bem-sucedida das Indústrias 4.0 é necessário haver progresso nas atividades de pesquisa e desenvolvimento em oito principais áreas: (1) padronização e padrões abertos para uma arquitetura de referência, (2) gestão de sistemas complexos, (3) fornecimento de uma infraestrutura de banda larga abrangente para a indústria, (4) questões de segurança, (5) organização e projeto de trabalho na era da indústria digital, (6) treinamento específico e contínuo desenvolvimento profissional, (7) quadro adequado de regularidade e (8) eficiência de recursos.

Para Snášel et al. (2017), para que a Indústria 4.0 e outras abordagens de manufatura inteligente lidem com grande armazenamento de dados, o compartilhamento, processamento e análise de informações serão o principal desafio para a área de pesquisa em ciência da informação. Alguns exemplos de desafios incluem a gestão eficiente de informações, a complexidade adicional que surge da análise de informações semiestruturadas ou desestruturadas, e requisitos de processamento crítico em tempo rápido. Para resolver estas questões, a compreensão desta enorme quantidade de dados, visualização avançada e técnicas de exploração de dados são fundamentais (SNÁŠEL et al., 2017).

Conforme Durão et al. (2017), com relação ao chão de fábrica, os principais desafios a serem enfrentados pelas Indústrias 4.0 são a integração de fluxos de trabalho digitais contínuos ao longo do ciclo de vida do produto, o desenvolvimento de processos de fabricação altamente flexíveis e adaptativos e as capacidades para fabricar produtos individualizados ao preço da produção em massa.

De acordo com Pfeiffer et al. (2016), no âmbito do desenvolvimento das Indústrias 4.0, os principais desafios para o projeto da interface com o usuário consistem em: (1) grandes

quantidades de dados de diferentes níveis de abstração, (2) raciocínio e explicação dos sistemas de decisão automática, (3) introdução de tecnologias avançadas de interface, (4) introdução de sistemas colaborativos que seguem o dilema padronização versus adaptação/personalização, (5) condições de trabalho e (6) treinamento, educação e qualificação.

Para Roblek, Meško e Krapež (2016), apesar dos inúmeros benefícios que podem ser alcançados com a consolidação da Indústria 4.0, a mudança tecnológica que este novo paradigma empresarial acarretará pode ter impactos negativos sobre o emprego. O desafio será a reestruturação dos empregos porque algumas das ocupações menos exigentes desaparecerão rapidamente, ocasionando o desemprego tecnológico. A McKinsey estima que 65% das crianças que entram na escola primária hoje acabarão por trabalhar em tipos de trabalho completamente novos que ainda não existem (TURCU; TURCU, 2018). Na era da Indústria 4.0, os funcionários desempenharão um importante papel no projeto, instalação, atualização e manutenção do sistema de fabricação inteligente (WANG et al., 2019).

No âmbito da Indústria 4.0, a colaboração entre homens e robôs será cada vez mais comum na realização de processos produtivos. O desafio para esses robôs é o cumprimento das normas de segurança para proteger os funcionários de ferimentos (GEIGER; WALDSCHMIDT, 2019).

Como muitos perfis de trabalho mudarão, muitas medidas de conversão e adaptação também serão necessárias nos campos da educação e desenvolvimento de funcionários (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016). Segundo Fettermann et al. (2018), a demanda por mão-de-obra altamente qualificada representa o maior desafio para o uso das tecnologias da Indústria 4.0, especialmente nos países em desenvolvimento. Profissionais com formação universitária, especialmente os graduados em engenharia, precisam adquirir novas competências (CHONG et al., 2018). Para Azmi et al. (2018), algumas habilidades que são exigidas pelos empregadores são a comunicação (especialmente em inglês), trabalho em equipe, pensamento crítico e resolução de problemas, empreendedorismo e conhecimentos de informática.

2.9 Considerações finais

As mudanças societárias e o desenvolvimento de novas tecnologias de informação criaram um terreno frutífero para a quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0. A Indústria 4.0 é uma tendência importante na automação manufatureira atualmente, pois ela aumenta o grau de informatização, digitalização e inteligência nas

indústrias. A maioria das empresas modernas está gradualmente se movendo em direção a este novo paradigma.

A iniciativa Indústria 4.0 ganhou atenção principalmente porque ela reúne um conjunto de tecnologias que podem ajudar a conseguir uma produção mais eficiente. Esta e outras abordagens da manufatura inteligente também ajudam a implementar o modo de produção sustentável para lidar com os desafios globais, podendo influenciar novos modelos de negócios e até mesmo afetar estilos de vida. Em geral, espera-se que a Indústria 4.0 beneficie as tecnologias de inteligência de ambiente e resulte em períodos de desenvolvimento mais curtos, personalização na demanda por clientes, flexibilidade, descentralização e eficiência de recursos ambientais, humanos e econômicos.

A identificação dos principais conceitos, soluções, princípios de projeto, benefícios e barreiras para a contribuição das Indústrias 4.0 representa a contribuição deste artigo para o desenvolvimento de temáticas de pesquisa na área. Segundo Buer, Strandhagen e Chan (2018), poucos profissionais são capazes de fornecer uma definição concreta da Indústria 4.0 e a ausência de uma conceituação clara ocasiona problemas de comunicação e educação sobre o assunto, além de dificultar a identificação e implementação de soluções da Indústria 4.0 por parte das empresas. Fornecendo uma definição abrangente, este artigo cria uma compreensão comum do termo, a qual é necessária para uma razoável discussão científica do tópico.

As limitações do artigo resultam de seu escopo e do método de pesquisa aplicado. Como a busca bibliográfica restringiu as publicações às compiladas em língua inglesa, contribuições relevantes em outros idiomas podem ter sido ignoradas. Além disso, é possível que durante a identificação inicial dos termos de pesquisa importantes tópicos relacionados à Indústria 4.0 possam ter sido negligenciados, pois foram utilizadas palavras-chave específicas definidas pelos autores, o que pode ter levado a uma lista incompleta de tópicos, e, conseqüentemente, a uma definição não tão bem consistente sobre Indústrias 4.0.

Apesar das limitações acima mencionadas, acredita-se que este trabalho oferece motivação para realizar pesquisas para avanço do tema e teorias para explicar os elementos relacionados à Indústria 4.0. Como pesquisas de cunho teórico representam um passo inicial para o desenvolvimento de uma temática de pesquisa, futuros trabalhos podem fornecer informações mais sistemáticas sobre os tópicos de pesquisa aqui abordados, examinando um conjunto mais amplo de fontes bibliográficas para análise.

Como as pesquisas sobre Indústrias 4.0 estão em fase inicial, acredita-se que o uso de métodos empíricos de pesquisa como estudos de caso, pesquisa-ação e *surveys* possam fornecer ângulos alternativos para apresentar e explicar a complexidade das Indústrias 4.0, apontando as

principais barreiras para a consolidação, bem como os possíveis impactos para o ambiente empresarial, mercado de trabalho, sociedade e meio ambiente.

2.9 Referências

AĞAN, Y. et al. The relationships between corporate social responsibility, environmental supplier development, and firm performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 1872-1881, 2016.

ANDERSEN, R.; BATOVA, T. The current state of component content management: an integrative literature review. **IEEE Transactions on Professional Communication**, v. 58, n. 3, p. 247-270, 2015.

ANZOLA, D.; BARBROOK-JOHNSON, P.; CANO, J. I. Self-organization and social science. **Computational and Mathematical Organization Theory**, v. 23, n. 2, p. 221-257, 2017.

AZMI, A. N. et al. Towards Industrial Revolution 4.0: Employers' Expectations on Fresh Engineering Graduates. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, n. 4.28, p. 267-272, 2018.

BALADRÓN, C. et al. User-oriented environment for management of convergent services. **IEEE Communications Magazine**, v. 50, n. 11, p. 142-149, 2012.

BARENJI, R. V. et al. Cyber-Physical-based PAT (CPbPAT) framework for Pharma 4.0. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 567, n. 118445, 2019.

BAUER, D.; STOCK, D.; BAUERNHANSL, T. Movement towards service-orientation and app-orientation in manufacturing IT. **Procedia CIRP**, v. 62, p. 199-204, 2017.

BELKADI, F. et al. Co-definition of product structure and production network for frugal innovation perspectives: towards a modular-based approach. **Procedia CIRP**, v. 50, p. 589-594, 2016.

BERTOLA, P.; TEUNISSEN, J. Fashion 4.0. Innovating fashion industry through digital transformation. **Research Journal of Textile and Apparel**, v. 22, n. 4, p. 352-369, 2018.

BRACCINI, A.; MARGHERITA, E. Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: the case of a manufacturing company. **Sustainability**, v. 11, n. 1, p. 36, 2019.

BUCHHOLZ, C.; KIND, S.; STARK, R. Design of a test environment for planning and interaction with virtual production processes. **Procedia CIRP**, v. 62, p. 547-552, 2017.

BUER, S.-V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924-2940, 2018.

CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C. Review, analysis and classification of the literature on QFD - types of research, difficulties and benefits. **International Journal of Production Economics**, v. 114, n. 2, p. 737-754, 2008.

CASTELO-BRANCO, I.; CRUZ-JESUS, F.; OLIVEIRA, T. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. **Computers in Industry**, v. 107, p. 22-32, 2019.

CHATTERJEE, A.; GEORGIEV, G.; IANNACCHIONE, G. Aging and efficiency in living systems: Complexity, adaptation and self-organization. **Mechanisms of Ageing and Development**, v. 163, p. 2-7, 2017.

CHEN, T.; LIN, Y-C. Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3D printing: a review. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 32, n. 4, p. 394-413, 2017.

CHONG, S. et al. Integration of 3D Printing and Industry 4.0 into Engineering Teaching. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 3960, 2018.

CHUNG, M.; KIM, J. The Internet Information and Technology Research Directions based on the Fourth Industrial Revolution. **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, v. 10, n. 3, p. 1311-1320, 2016.

CINAT, P.; PAGGI, M.; GNECCO, G. Identification of roughness with optimal contact response with respect to real contact area and normal stiffness. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2019, 2019.

CONDRIY, M. W.; NELSON, C. B. Using smart edge IoT devices for safer, rapid response with industry IoT control operations. **Proceedings of the IEEE**, v. 104, n. 5, p. 938-946, 2016.

DALENOGARE, L. S. et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383-394, 2018.

DENGKAI, C. et al. Form Gene Clustering Method about Pan-Ethnic-Group Products Based on Emotional Semantic. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 29, n. 6, p. 1134-1144, 2016.

DURÃO, L. F. C. S. et al. Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 93, n. 1-4, p. 869-880, 2017.

ELMARAGHY, H. et al. Integrated Product / System Design and Planning for New Product Family in a Changeable Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 65-72, 2017.

ERKOLLAR, A.; OBERER, B. Sustainable cities need smart transportation: the Industry 4.0 transportation matrix. **Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences**, v. 9, n. 4, p. 359-370, 2018.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M.; FRAGA-LAMAS, P. A review on human-centered IoT-connected smart labels for the industry 4.0. **IEEE Access**, v. 6, p. 25939-25957, 2018.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M.; FRAGA-LAMAS, P. A review on the application of blockchain to the next generation of cybersecure Industry 4.0 smart factories. **IEEE Access**, v. 7, p. 45201-45218, 2019.

FERNANDEZ-GAGO, C.; MOYANO, F.; LOPEZ, J. Modelling trust dynamics in the Internet of Things. **Information Sciences**, v. 396, p. 72-82, 2017.

FETTERMANN, D. C. et al. How does Industry 4.0 contribute to operations management? **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 35, n. 4, p. 255-268, 2018.

FRAGA-LAMAS, P. et al. Smart pipe system for a shipyard 4.0. **Sensors**, v. 16, n. 12, p. 1-43, 2016.

FRAGA-LAMAS, P. et al. A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. **IEEE Access**, v. 6, p. 13358-13375, 2018.

FRAGA-LAMAS, P.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. A review on blockchain technologies for an advanced and cyber-resilient automotive industry. **IEEE Access**, v. 7, p. 17578-17598, 2019.

FRANCALANZA, E.; BORG, J.; CONSTANTINESCU, C. A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems. **Computers in Industry**, v. 84, p. 39-58, 2017.

FRANK, A. G. et al. Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 141, p. 341-351, 2019.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019.

FRITZSCHE, K.; NIEHOFF, S.; BEIER, G. Industry 4.0 and Climate change - exploring the science-policy gap. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4511, 2018.

GATTULLO, M. et al. Towards augmented reality manuals for industry 4.0: a methodology. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, v. 56, p. 276-286, 2019.

GAYED, N.; JARVIS, D. H.; JARVIS, J. H. A strategy for the migration of existing manufacturing systems to holonic systems. In: SMC'98 Conference Proceedings, 1998. **IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics** (Cat. No. 98CH36218). IEEE, 1998.

GEIGER, M.; WALDSCHMIDT, C. 160-GHz Radar Proximity Sensor With Distributed and Flexible Antennas for Collaborative Robots. **IEEE Access**, v. 7, p. 14977-14984, 2019.

GENTILE, P. D. Theory of modularity, a hypothesis. **Procedia Computer Science**, v. 20, p. 203-209, 2013.

GENTNER, S. Industry 4.0: reality, future or just science fiction? how to convince today's management to invest in tomorrow's future! successful strategies for Industry 4.0 and manufacturing IT. **Chimia**, v. 70, n. 9, p. 628-633, 2016.

GERLITZ, L. Design management as a domain of smart and sustainable enterprise: business modelling for innovation and smart growth in Industry 4.0. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 3, n. 3, p. 244-268, 2016.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 6, p. 910-936, 2018.

GIANNETTI, C.; RANSING, R. S. Risk based uncertainty quantification to improve robustness of manufacturing operations. **Computers & Industrial Engineering**, v. 101, p. 70-80, 2016.

GIUNTINI, F. T.; BEDER, D. M.; UEYAMA, J. Exploiting self-organization and fault tolerance in wireless sensor networks: a case study on wildfire detection application. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 13, n. 4, p. 1-16, 2017.

GÖTZ, M.; JANKOWSKA, B. Clusters and Industry 4.0 - do they fit together? **European Planning Studies**, v. 25, n. 9, p. 1633-1653, 2017.

GRIFFITHS, F.; OOI, M. The fourth industrial revolution-Industry 4.0 and IoT [Trends in Future I&M]. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v. 21, n. 6, p. 29-43, 2018.

HERZOG, R.; JACOBY, M.; ŽARKO, I. P. Semantic interoperability in IoT-based automation infrastructures. **at-Automatisierungstechnik**, v. 64, n. 9, p. 742-749, 2016.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.

HORVÁTH, D.; SZABÓ, R. Z. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 146, p. 119-132, 2019.

HSIEH, L. Y.; HUANG, E.; CHEN, C-H. Equipment utilization enhancement in photolithography area through a dynamic system control using multi-fidelity simulation optimization with big data technique. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, v. 30, n. 2, p. 166-175, 2017.

HUANG, Z. et al. Planning community energy system in the industry 4.0 era: Achievements, challenges and a potential solution. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 710-721, 2017.

IVANOV, D. et al. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386-402, 2016.

- JARDIM-GONÇALVES, R.; GRILO, A.; POPPLEWELL, K. Novel strategies for global manufacturing systems interoperability. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 27, n. 1, p. 1-9, 2016.
- JOVANOVIĆ, M. et al. The agile approach in industrial and software engineering project management. **Journal of Applied Engineering Science**, v. 13, n. 4, p. 213-216, 2015.
- KAKUSHI, L. E.; ÉVORA, Y. D. M. Social networking in nursing education: integrative literature review. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 24, n. 1, p. 1-12, 2016.
- KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; DHONE, N. C. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, In Press, 2019.
- KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.
- KANG, S. H. et al. Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.
- KOESTLER, A. **The Ghost in the Machine**. Londres, Arkana Books, 1969.
- KOHTAMAKI, M. et al. The performance impact of industrial services and service orientation on manufacturing companies. **Journal of Service Theory and Practice**, v. 25, n. 4, p. 463-485, 2015.
- KRAWCZYŃSKI, M. et al. Reindustrialization: a challenge to the economy in the first quarter of the twenty-first century. **Foundations of Management**, v. 8, n. 1, p. 107-122, 2016.
- KUŚ, A.; PYPLACZ, P. The Importance of Information Management in the Context of Industry 4.0: Evidence from the Kuyavian-Pomeranian Forbes Diamonds. **Social Sciences**, v. 8, n. 6, p. 169, 2019.
- KYMÄLÄINEN, T. et al. A creative prototype illustrating the ambient user experience of an intelligent future factory. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v. 9, n. 1, p. 41-57, 2017.
- LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18-23, 2015.
- LEITÃO, P.; BARBOSA, J. Dynamic switching mechanism to support self-organization in ADACOR Holonic Control System. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 31, p. 161-166, 2016.
- LI, X. et al. A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. **Wireless Networks**, v. 23, n. 1, p. 23-41, 2017a.

- LI, B-H. et al. Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review. **Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering**, v. 18, n. 1, p. 86-96, 2017b.
- LIU, K. et al. Application modes of cloud manufacturing and program analysis. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 31, n. 1, p. 157-164, 2017.
- LU, Y. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.
- LU, Y.; XU, X. Cloud-based manufacturing equipment and big data analytics to enable on-demand manufacturing services. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, v. 57, p. 92-102, 2019.
- LUCAS-ESTAN, M. et al. Emerging Trends in Hybrid Wireless Communication and Data Management for the Industry 4.0. **Electronics**, v. 7, n. 12, p. 400, 2018.
- MARTÍN-GÓMEZ, A.; AGUAYO-GONZÁLEZ, F.; LUQUE, A. A holonic framework for managing the sustainable supply chain in emerging economies with smart connected metabolism. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 141, p. 219-232, 2019.
- MASLARIĆ, M.; NIKOLIČIĆ, S.; MIRČETIĆ, D. Logistics response to the industry 4.0: the physical internet. **Open Engineering**, v. 6, n. 1, p. 511-517, 2016.
- MASTROIANNI, C.; PAPUZZO, G. A self-organizing P2P framework for collective service discovery. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 39, p. 214-222, 2014.
- MATT, C. Fog computing: complementing cloud computing to facilitate Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 60, n. 4, p. 351-355, 2018.
- MEISSNER, H.; ILSSEN, R.; AURICH, J. C. Analysis of control architectures in the context of Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 62, p. 165-169, 2017.
- MIHARDJO, L. W. W. et al. Digital Transformation in the Age of Industry 4.0: Acceleration of Transformational Performance through Business Model Innovation and Co-Creation Strategy in Indonesian ICT Firms. **Opción**, v. 34, n. 86, p. 2145-2159, 2018.
- MODONI, G. E. et al. An event-driven integrative framework enabling information notification among manufacturing resources. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 32, n. 3, p. 241-252, 2019.
- MOGHADDAM, Mohsen et al. Reference architectures for smart manufacturing: A critical review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 49, p. 215-225, 2018.
- MOHAMED, M. Challenges and Benefits of Industry 4.0: an overview. **International Journal of Supply and Operations Management**, v. 5, n. 3, p. 256-265, 2018.
- MOHAMED, N.; AL-JAROODI, J.; LAZAROVA-MOLNAR, S. Leveraging the capabilities of industry 4.0 for improving energy efficiency in smart factories. **IEEE Access**, v. 7, p. 18008-18020, 2019.

MONOSTORI, L. et al. Cyber-physical systems in manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 65, p. 621-641, 2016.

MORENO, A. et al. Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the Industry 4.0 vision. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, v. 11, n. 2, p. 365-373, 2017.

MORENO-VOZMEDIANO, R.; MONTERO, R. S.; LLORENTE, I. M. Key Challenges in Cloud Computing: Enabling the Future Internet of Services. **IEEE Internet Computing**, v. 17, n. 4, p. 18-25, 2013.

MRUGALSKA, B.; WYRWICKA, M. K. Towards lean production in industry 4.0. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 466-473, 2017.

MÜLLER, E.; HOPF, H. Competence center for the digital transformation in small and medium-sized enterprises. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1495-1500, 2017.

NAVICKAS, V.; KUZNETSOVA, S. A.; GRUZAUSKAS, V. Cyber-physical systems expression in industry 4.0 context. **Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice**, v. 2, n. 23, p. 188-197, 2017.

NGAI, E. W. T. et al. RFID research: an academic literature review (1995-2005) and future research directions. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 510-520, 2008.

NOWOTARSKI, P.; PASLAWSKI, J. Industry 4.0 concept introduction into construction SMEs. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 245, p. 052043, 2017.

NUNES, M. L.; PEREIRA, A. C.; ALVES, A. C. Smart products development approaches for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1215-1222, 2017.

OSSES, N. et al. Uncertainty reduction in measuring and verification of energy savings by statistical learning in manufacturing environments. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, v. 10, n. 3, p. 291-299, 2016.

OSTERRIEDER, P.; BUDDE, L.; FRIEDLI, T. The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. **International Journal of Production Economics**, In Press, 2019.

PANDA, S. et al. Coordinating a socially responsible closed-loop supply chain with product recycling. **International Journal of Production Economics**, v. 188, p. 11-21, 2017.

PENAS, O. et al. Multi-scale approach from mechatronic to Cyber-Physical Systems for the design of manufacturing systems. **Computers in Industry**, v. 86, n. 52-69, 2017.

PFEIFFER, T. et al. Empowering user interfaces for Industrie 4.0. **Proceedings of the IEEE**, v. 104, n. 5, p. 986-996, 2016.

POSADA, J. et al. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 35, n. 2, p. 26-40, 2015.

PRAUSE, G. Sustainable business models and structures for Industry 4.0. **Journal of Security and Sustainability Issues**, v. 5, n. 2, p. 159-169, 2015.

_____. E-Residency: a business platform for Industry 4.0? **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 3, n. 3, p. 216-227, 2016.

REVERTE, C.; GÓMEZ-MELERO, E.; CEGARRA-NAVARRO, J. G. The influence of corporate social responsibility practices on organizational performance: evidence from Eco-Responsible Spanish firms. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, part 4, p. 2870-2884, 2016.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. A complex view of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016.

ROMO-FERNÁNDEZ, L. M. et al. Analysis of Europe's scientific production on renewable energies. **Renewable Energy**, v. 36, n. 9, p. 2529-2537, 2011.

SACKEY, S. M.; BESTER, A. Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a South African context. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 27, n. 4, p. 101-114, 2016.

SACKEY, S. M.; BESTER, A.; ADAMS, D. Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 28, n. 1, p. 114-124, 2017.

SANTOS, C. et al. Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 972-979, 2017a.

SANTOS, M. Y. et al. A big data system supporting Bosch Braga industry 4.0 strategy. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 6, p. 750-760, 2017b.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research Methods for Business Students**. 6. ed. Nova York: Pearson, 2012.

SAYÃO, L. F.; MARCONDES, C. H. O desafio da interoperabilidade e as novas perspectivas para as bibliotecas digitais. **Transinformação**, v. 20, n. 2, p. 133-148, 2008.

SEPULCRE, M.; GOZALVEZ, J.; COLL-PERALES, B. Multipath QoS-driven routing protocol for industrial wireless networks. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 74, p. 121-132, 2016.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, v. 60, p. 1146-1155, 2015.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual engineering factory: creating experience base for Industry 4.0. **Cybernetics and Systems**, v. 47, n. 1-2, p. 32-47, 2016a.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual engineering process (VEP): a knowledge representation approach for building bio-inspired distributed manufacturing DNA. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 23, p. 7129-7142, 2016b.

SHAMIM, S. et al. Examining the feasibilities of Industry 4.0 for the hospitality sector with the lens of management practice. **Energies**, v. 10, n. 4, p. 1-19, 2017.

SIEMIENIUCH, C.E.; SINCLAIR, M.A.; HENSHAW, M.J. de C. Global drivers, sustainable manufacturing and systems ergonomics. **Applied Ergonomics**, v. 51, p. 104-119, 2015.

SNÁŠEL, V. et al. Geometrical and topological approaches to Big Data. **Future Generation Computer Systems**, v. 67, p. 286-296, 2017.

SRAI, J. S.; LORENTZ, H. Developing design principles for the digitalisation of purchasing and supply management. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 25, n. 1, p. 78-98, 2019.

STRANDHAGEN, J. O. et al. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 359-369, 2017.

TAO, Q. et al. Digital evaluation of sitting posture comfort in human-vehicle system under industry 4.0 framework. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 29, n. 6, p. 1096-1103, 2016.

TAO, S. W. et al. A proposed bi-layer crime prevention framework using big data analytics. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 8, n. 4-2, p. 1453-1459, 2018.

TERRAZAS, G.; FERRY, N.; RATCHEV, S. A cloud-based framework for shop floor big data management and elastic computing analytics. **Computers in Industry**, v. 109, p. 204-214, 2019.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2018.

TRAPPEY, A. J. C. et al. A review of technology standards and patent portfolios for enabling cyber-physical systems in advanced manufacturing. **IEEE Access**, v. 4, p. 7356-7382, 2016.

TUOMINEN, V. The measurement-aided welding cell - giving sight to the blind. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 86, n. 1-4, p. 371-386, 2016.

TURCU, C. O.; TURCU, C. E. Industrial Internet of Things as a Challenge for Higher Education. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 9, n. 11, p. 55-60, 2018.

UDEN, L.; HE, W. How the Internet of Things can help knowledge management: a case study from the automotive domain. **Journal of Knowledge Management**, v. 21, n. 1, p. 57-70, 2017.

UHLMANN, E.; HOHWIELER, E.; GEISERT, C. Intelligent production systems in the era of industry 4.0 - changing mindsets and business models. **Journal of Machine Engineering**, v. 17, n. 2, p. 5-24, 2017.

VARELA, L. et al. Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability. **Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1439, 2019.

VICTOR, V. et al. Factors influencing consumer behavior and prospective purchase decisions in a dynamic pricing environment - An exploratory factor analysis approach. **Social Sciences**, v. 7, n. 9, p. 153, 2018.

VILLAS, M. V.; SOARES, T. D. L. V. A. M.; RUSSO, G. M. Bibliographical research method for business administration studies: a model based on scientific journal ranking. **Brazilian Administration Review**, v. 5, n. 2, p. 139-159, 2008.

VLASSIS, N. A concise introduction to multiagent systems and distributed artificial intelligence. **Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning**, v. 1, n. 1, p. 1-71, 2007.

WAHL, M. Strategic factor analysis for industry 4.0. **Journal of Security and Sustainability Issues**, v. 5, n. 2, p. 241-247, 2015.

WANG, S. et al. Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 2016, p. 1-11, 2016.

WANG, Z. et al. Enabling non-invasive and real-time human-machine interactions based on wireless sensing and fog computing. **Personal and Ubiquitous Computing**, v. 23, n. 1, p. 29-41, 2019.

WANG, L.; CHEN, X.; LIU, Q. A lightweight intelligent manufacturing system based on cloud computing for plate production. **Mobile Networks and Applications**, v. 22, n. 6, p. 1170-1181, 2017.

WILKESMANN, M.; WILKESMANN, U. Industry 4.0 - organizing routines or innovations? **VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems**, v. 48, n. 2, p. 238-254, 2018.

WOGNUM, N. et al. Transdisciplinary systems engineering: implications, challenges and research agenda. **International Journal of Agile Systems and Management**, v. 12, n. 1, p. 58-89, 2019.

XING, G. et al. Fair energy-efficient virtual machine scheduling for Internet of Things applications in cloud environment. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 13, n. 2, p. 1-11, 2017.

XU, P. et al. ViDX: Visual Diagnostics of Assembly Line Performance in Smart Factories. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 23, n. 1, p. 291-300, 2017.

ZGHIDI, A. B.; ZAIEM, I. Service orientation as a strategic marketing tool: the moderating effect of business sector. **Competitiveness Review**, v. 27, n. 1, p.40-61, 2017.

ZHANG, Y. H.; WANG, Y. The impact of government incentive on the two competing supply chains under the perspective of corporation social responsibility: a case study of photovoltaic industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 102-113, 2017.

ZHOU, K.; LIU, T.; LIANG, L. From cyber-physical systems to Industry 4.0: make future manufacturing become possible. **International Journal of Manufacturing Research**, v. 11, n. 2, p. 167-188, 2016.

3. MODELAGEM DE EMPRESAS DO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DIGITAL PARA ALCANCE DO PARADIGMA DAS INDÚSTRIAS 4.0: RECORTE ANALÍTICO NA VISÃO DE UMA EMPRESA FORNECEDORA DE TECNOLOGIAS

Resumo: A Indústria 4.0 surgiu na Alemanha, em 2011, como uma proposta para o desenvolvimento de um novo conceito de política econômica com base em estratégias de alta tecnologia. Esta estratégia representa a quarta revolução industrial, e é uma das abordagens da manufatura inteligente, a qual é baseada em tecnologias que incluem os sistemas ciber-físicos, a internet das coisas, a internet de serviços e a manufatura em nuvem, e que via internet permitem uma interação contínua e troca de informações entre homens, homens e máquinas, e entre as próprias máquinas. A literatura sinaliza a necessidade de apresentação de modelos de empresas e linguagens visuais que auxiliem o desenvolvimento das Indústrias 4.0. Nesse contexto, com o intuito de facilitar a compreensão do projeto de transformação digital, este artigo visa desenvolver uma modelagem de empresas de tais organizações, documentando os seus objetivos, regras de negócio, processos, atores e recursos, componentes e requisitos técnicos e conceitos. O modelo de empresas apresentado foi desenvolvido por meio do método For Enterprise Modeling (4EM) e as informações foram obtidas por meio de uma entrevista com um especialista da área. A contribuição deste artigo é a identificação de princípios norteadores para que as empresas interessadas na adaptação ao paradigma das Indústrias 4.0 tenham um referencial como base, uma vez que o modelo permitiu absorver o conhecimento tácito de uma empresa fornecedora de tecnologias e apresentá-lo de forma explícita e compreensível para diversos *stakeholders*.

Palavras-chave: Indústrias 4.0, Sistemas Ciber-físicos, Internet das Coisas, Internet de Serviços, Manufatura em Nuvem, Modelagem de Empresas.

3.1 Introdução

Em todo o mundo, esforços têm sido feitos para melhorar a produtividade e eficiência das indústrias e essa melhoria pode ser alcançada por meio da integração da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) com a manufatura (SHAFIQ et al., 2015). Com a evolução da TIC, organizações necessitam adotar novos modelos de negócios, renunciando a métodos tradicionais e arcaicos de gestão, para inserção e/ou permanência no mercado altamente competitivo e caracterizado por rápidas e intensas mudanças.

A manufatura inteligente representa um sistema de manufatura em nuvem integrado por homens e máquinas para conduzir atividades inteligentes na empresa (LIU et al., 2017; ZHONG et al., 2016); e visa mudar a forma de gerenciamento das unidades empresariais, empresa como um todo e cadeia de suprimentos (JIA; TANG; LV, 2016). A adaptabilidade, eficiência de recursos, ergonomia, integração de clientes e parceiros em processos de negócios e de valor são características da manufatura inteligente (SHAFIQ et al., 2015).

O ambiente empresarial encontra-se em processo de adaptação à quarta revolução industrial, a qual é caracterizada pela manufatura inteligente. Pode-se afirmar que esta revolução foi desencadeada pela iniciativa alemã conhecida como Indústrias 4.0, e baseia-se em ciência da computação, TIC e ciência e tecnologia de fabricação para desenvolver futuros sistemas industriais que permitem a aquisição inteligente de informações, conectividade entre elementos do sistema e capacidade de resposta às mudanças internas e externas (BOKRANTZ et al., 2017).

O termo Indústria 4.0 foi oficialmente apresentado ao público pela primeira vez por Kagermann, Lukas e Wahlster em 2011 na Alemanha, durante a Hanover Fair (UHLMANN; HOHWIELER; GEISERT, 2017). Embora a Suíça seja o país europeu melhor preparado para enfrentar os desafios impostos pela Indústria 4.0, no mundo inteiro a Alemanha é o país que tem maior potencial para alcançar este paradigma (GENTNER, 2016). Garcia-Muiña et al. (2018) afirmam que juntamente com a Itália, a Alemanha é o país europeu que mais implementou os novos paradigmas da Indústria 4.0. como fatores facilitadores para a digitalização da manufatura. A Alemanha possui uma das indústrias de manufatura mais competitivas do mundo e é líder mundial na fabricação de equipamentos (MONOSTORI et al., 2016). A associação da indústria elétrica da Alemanha prevê que a Indústria 4.0 aumentará a produtividade industrial em 30% (NIGAPPA; SELVAKUMAR, 2016).

A Indústria 4.0 é sinônimo de transformação das fábricas atuais em fábricas inteligentes, as quais abordam e superam desafios atuais como ciclos de vida mais curtos dos produtos, produtos altamente personalizados, concorrência global rígida e produção enxuta (UPASANI et al., 2017). A Indústria 4.0 combina máquinas, sistemas, produção e processos inteligentes para formar uma rede sofisticada, enfatizando a ideia de digitalização consistente e ligação de todas as unidades produtivas em uma instalação de fabricação, ao criar uma virtualização do mundo real em um grande sistema de informação (SHAFIQ et al., 2016). A Indústria 4.0 deve ser uma integração e assimilação de conceitos como sistemas ciber-físicos, internet das coisas, internet de serviços, fabricação inteligente, computação móvel, computação em nuvem, redes sem fio industriais, *big data*, manufatura sustentável, autoconfiguração e auto-otimização de

processos produtivos, e personalização de produtos (GORECKY; KHAMIS; MURA, 2017; HSU; YANG, 2017; OH; SON, 2016; ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016; SEPULCRE; GOZALVEZ; COLL-PERALES, 2016; SHAFIQ et al., 2016).

A Indústria 4.0 afeta as áreas de gerenciamento de ordens, pesquisa e desenvolvimento, fabricação, comissionamento, bem como a entrega, uso e reciclagem de bens produzidos (MONOSTORI et al., 2016), sendo capaz de oferecer ganhos de produtividade devido ao avanço tecnológico que permite melhorar significativamente a colaboração entre homens, homens e máquinas e entre máquinas (ALEXOPOULOS et al., 2016).

A gestão do conhecimento é um dos fatores críticos para a consolidação das Indústrias 4.0 (SHAMIM et al., 2017). Segundo Jansen (2016), gestores industriais devem lidar com a grande complexidade da Indústria 4.0, e como uma Indústria 4.0 é um ambiente no qual todos os participantes estão interligados e compartilham informações entre si (SCHLECHTENDAHL et al., 2015), para que seus princípios sejam aplicados eficientemente, é necessário que todos os envolvidos entendam sua dinâmica (FORD, 2015). A modelagem de empresas é fundamental para compreender a dinâmica, robustez e fragilidade das atividades desenvolvidas em empresas (BRAHA; STACEY; BAR-YAM, 2011). Para Lasi et al. (2014), a Indústria 4.0 necessita de métodos avançados de modelagem e segundo Koussouris et al. (2010) as técnicas de modelagem de empresas e as linguagens visuais associadas são muito importantes e úteis para apoiar o desenvolvimento de empresas inteligentes. Assim, este artigo busca modelar os principais elementos relacionados às Indústrias 4.0 por meio do método de modelagem de empresas For Enterprise Modeling (4EM). As informações necessárias para a modelagem foram obtidas por meio de uma entrevista realizada com um especialista que trabalha em uma empresa brasileira fornecedora de tecnologias para a Indústria 4.0.

3.2 Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio de opinião de especialista e da técnica de modelagem de empresas. É uma pesquisa de abordagem qualitativa, fornecendo maior proximidade entre os pesquisadores e os problemas estudados; bem como possui caráter exploratório, fornecendo correlações entre os objetos de estudo para colaborar com futuras pesquisas.

3.2.1 Estruturação da entrevista

Para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica, de caráter exploratório, sobre fundamentos, princípios e conceitos das Indústrias 4.0. Devido à sua ampla utilização e impacto na comunidade acadêmica internacional (ROMO-FERNÁNDEZ et al., 2011), foram levantados artigos publicados nas bases de dados SCOPUS e Web of Science. Para selecionar as publicações de interesse, foi pesquisado por meio do título, resumo e palavras-chave, sem restrição ao período de publicação, os seguintes termos: “Industr* 4.0”, “Intelligent Manufacturing”, “Smart Compan*”, “Smart Enterprise”, “Smart Fabric”, “Smart Factory” e “Smart Manufacturing”.

Após a conclusão da etapa de pesquisa bibliográfica, foi realizado uma entrevista com um especialista, alicerçada em um roteiro de entrevista, a fim de obter-se informações que possibilitassem realizar o desenvolvimento e posterior apresentação de modelos de empresas relacionados ao processo de adaptação de empresas ao paradigma das Indústrias 4.0. Justifica-se a escolha deste procedimento metodológico por ele ser adequado para o desenvolvimento da pesquisa, tendo em vista que a modelagem de empresas tem sido dominada por abordagens qualitativas (SUZUKI et al., 2012), já que a modelagem qualitativa permite que os modeladores vejam a existência sinérgica da organização em sua totalidade (WHITMAN; GIBSON, 1996).

As entrevistas são uma das fontes mais importantes de informações para o desenvolvimento de pesquisas que envolvem opinião de especialistas. Como preparação para a entrevista, um roteiro de entrevista (apresentado no Apêndice B) sobre tópicos relacionados à modelagem de empresas do processo de transformação digital para alcance do paradigma das Indústrias 4.0 foi desenvolvido e fornecido ao profissional entrevistado antes da conversa. A entrevista foi gravada e a gravação foi transcrita, a fim de fornecer uma interpretação precisa do que foi dito.

O especialista entrevistado trabalha em uma empresa que possui uma unidade industrial no Brasil, conta com 30 funcionários, e de acordo com seu faturamento é classificada como empresa de médio porte. A empresa é uma das líderes nacionais no fornecimento de *softwares* para indústrias manufatureiras, disponibilizando sistemas de: supervisão; coleta de dados históricos; apresentação de informações sobre eficiência, qualidade e rastreamento; malhas de controle; gerenciamento de alarmes etc. O profissional entrevistado é um engenheiro eletricista e tem como responsabilidades implantar as tecnologias de Indústrias 4.0 nas empresas clientes.

3.2.2 Seleção do método de modelagem de empresas

A fim de auxiliar a compreensão do método de modelagem de empresas escolhido, bem como justificar adequadamente a escolha, esta subseção foi dividida em 3 partes.

3.2.2.1 Uma visão geral da modelagem de empresas

A modelagem de empresas é uma técnica utilizada para estudar a operação de uma empresa, considerando-a dos seus pontos de vista funcionais, operacionais e/ou de recursos (BHUIYAN; THOMSON, 1999). Segundo Ong et al. (2005), a modelagem de empresas geralmente engloba as áreas operacional, tática e estratégica de uma empresa. Surgindo como uma importante área de pesquisa, a modelagem de empresas foi desenvolvida em 1980 em atendimento à necessidade de integração de funções empresariais, sendo usada em grandes projetos de fabricação integrados por computador nos Estados Unidos (CISTERNINO et al., 2009; DOUMEINGTS et al., 2000). Abordando inicialmente a área de gestão da produção, a modelagem de empresas passou a abordar todas as funções da empresa (DOUMEINGTS et al., 2000), sendo uma das principais técnicas usadas para melhorar o desempenho empresarial (DOUMEINGTS; DUCQ, 2001).

O principal objetivo da modelagem de empresas é reunir o conhecimento tácito espalhado em uma organização e apresentá-lo de forma explícita e compreensível a todos os *stakeholders* (BIDER et al., 2017). As principais motivações para executar a modelagem de empresas são o gerenciamento da complexidade do sistema, ao entender como uma empresa funciona; documentação do conhecimento e do *know-how* da empresa; melhoria contínua de processos; melhor gestão das operações e integração empresarial (MERTINS; JOCHEM, 2005; VERNADAT, 2002).

De acordo com Berio e Vernadat (1999, 2001) e Liu et al. (2008), qualquer abordagem para modelagem de empresas deve lidar com:

1) Três tipos fundamentais de fluxos dentro de ou entre empresas:

- Fluxos de materiais (objetos físicos como produtos, ferramentas, matérias-primas etc.);
- Fluxos de informação (documentos, dados, arquivos de computador, telefonemas etc.);
- Fluxos de decisão/control (sequência de operações).

2) Cinco visões de modelagem:

- Visão de função, a qual aborda a funcionalidade da empresa (o que deve ser feito) e o comportamento da empresa (em que ordem o trabalho deve ser feito);
- Visão de informação, a qual mostra quais são os objetos a serem processados ou usados;
- Visão de recursos, a qual apresenta quem/o que faz o que;
- Visão de organização, a qual representa as unidades da organização e seus relacionamentos, quem é responsável pelo que ou quem, quem tem autoridade sobre o que, o empoderamento das pessoas etc. Outros aspectos podem ser considerados nesta visão como a visão econômica, ergonômica etc.
- Vista lógica de negócios, a qual aborda todas as restrições ou regras.

3) Três níveis de modelagem:

- A definição de requisitos, usada para representar “a voz dos usuários”, isto é, o que é necessário e que deve ser expresso de forma detalhada e inequívoca;
- A especificação de projeto, usada para definir formalmente uma ou mais soluções que satisfaçam o conjunto de seus requisitos, analisar suas propriedades e selecionar o “melhor” para ele;
- A descrição da implementação, usada para indicar detalhadamente a solução de implementação levando em consideração restrições físicas técnicas.

Na modelagem de empresas as coisas a serem modeladas e integradas incluem pedidos, produtos, processos e ativos empresariais, decisões organizacionais e recursos humanos, financeiros e de informação (MERTINS; JOCHEM, 2005). O modelo de empresas resultante consiste em vários submodelos que possuem estruturas de conhecimento orientadas para comunicação ao usuário (KIRIKOVA, 2000). Como uma representação abstrata e simplificada de algum aspecto específico da empresa em questão, um modelo de empresas amplifica as características importantes e esconde os detalhes que são considerados de baixa ou nenhuma importância em um determinado nível de abstração (TOH, 1999). O objetivo desses modelos é proporcionar um entendimento comum entre os usuários sobre as operações e estrutura da empresa, para apoiar análises ou tomadas de decisões (geralmente com base em cenários de simulação ou “*what-if*”) ou para controlar as operações da empresa (BERIO; VERNADAT, 1999).

A modelagem de empresas proporciona benefícios como compreensão das atividades empresariais; atribuição de múltiplas perspectivas nos modelos desenvolvidos; transparência e representação dos processos empresariais; unificação das visões dos diversos *stakeholders*; apoio à tomada de decisão; melhor gerenciamento de processos de mudança; *benchmarking* e

a possibilidade de reuso generalizado dos modelos desenvolvidos (KOSANKE; VERNADAT; ZELM, 1999; ONG et al., 2006; RAHIMIFARD; WESTON, 2007).

3.2.2.2 Comparação entre as principais técnicas de modelagem

De acordo com Ong et al. (2005), a modelagem de empresas tenta responder questões tais como “quê?”, “como”, “quando” e “quem” da empresa, valendo-se das diversas técnicas de modelagem existentes. Pesquisas no campo de modelagem de empresas resultaram no desenvolvimento de uma ampla gama de técnicas de modelagem que fornecem representações visuais para melhorar a compreensão e comunicação sobre a arquitetura de negócios (ROELENS; STEENACKER; POELS, 2019). A seleção da técnica adequada é um dos estágios essenciais em um projeto de modelagem de empresas e pode aumentar substancialmente as chances de sucesso (KASSEM; DAWOOD; MITCHELL, 2011). Selecionar a técnica de modelagem correta, no entanto, pode não ser tão intuitivo, uma vez que os modelos corporativos são heterogêneos e não existem padrões amplamente aceitos nesta área. Ao escolher uma técnica de modelagem, deve-se ter em mente quem lerão e usarão os modelos (BERTONI et al., 2009). Logo, uma comparação entre os principais métodos é importante para prosseguir no processo de modelagem.

De acordo com Vernadat (1996) a Architecture of Integrated Information Systems (ARIS) aumenta a integração de processos, representando as visões acerca de organização e controle de informações. A ARIS inclui os conceitos de unidade organizacional, tipo de unidade organizacional, posição, funcionário e papel (ALMEIDA; GUIZZARDI; SANTOS JÚNIOR, 2009).

Segundo Chinosi e Trombetta (2012), o Business Process Model and Notation (BPMN) fornece uma notação gráfica para representar um processo de negócios como um diagrama e sua meta é fornecer uma notação que seja facilmente compreensível pelos usuários de negócios, desde os analistas de negócios que esboçam os rascunhos iniciais dos processos até os desenvolvedores técnicos responsáveis por realmente implementá-los e, finalmente, a equipe de negócios que está implantando e monitorando esses processos.

Segundo Vernadat (1996) a Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture (CIMOSA) propõe a modelagem de funções, informações, recursos e aspectos organizacionais, usando uma linguagem avançada. De acordo com (ABDMOULEH; SPADONI; VERNADAT, 2004), a CIMOSA considera três níveis de modelagem (definição de requisitos, especificação de projeto e descrição da implementação).

A Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology (GERAM) fornece uma descrição de todos os elementos recomendados na engenharia empresarial e define vários aspectos importantes das entidades empresariais (SZEGHEO; PETERSEN, 2000), englobando conceitos, metodologias, linguagens de modelagem, ferramentas, modelos reutilizáveis parciais e particulares, módulos de implementação e sistemas operacionais empresariais (SANTOS; FERREIRA; MENDONÇA, 2000).

A Graphs with Results and Actions Inter-related (GRAI) enfatiza a estrutura organizacional e o sistema decisional vinculado de sistemas de produção, visando analisá-los para detectar pontos fracos, projetar concepções alternativas do sistema e apoiar a realização. O método GRAI compreende os modelos físico, operacional, decisional e de informação (ZÜLCH; RINN; STRATE, 2001).

A Integration DEFinition (IDEF) compreende um conjunto de técnicas de modelagem gráfica projetadas para especificar formalmente e comunicar aspectos importantes de projetos de engenharia empresarial (KIM et al., 2003), porém é inadequada quando uma representação detalhada do processo empresarial no nível de descrição da implementação é necessária (BERTONI et al., 2009).

Conforme Strain e Eason (2000), a Organizational Requirements Definition of Information Technology Systems (ORDIT) serve para auxiliar membros de organizações a definir o papel da tecnologia da informação, fornecendo um processo capaz de suportar gerações de requisitos organizacionais e fornecer métodos e ferramentas de apoio associadas.

Para Williams (1994) a Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA) foca no ciclo de vida das empresas, definindo sua missão no nível operacional e obsolescência. Este método reconhece a importância da participação dos profissionais de gestão nas etapas iniciais do desenvolvimento do programa (LI; WILLIAMS, 1997).

A Structured Analysis and Design Technique (SADT) permite analisar graficamente e de forma estruturada as funções de um sistema e consiste em analisar o sistema em subsistemas e estudar seus processos ao identificar atividades, elementos de entradas, saídas e controles (LAKHOUA; RAHMOUNI, 2011).

A Unified Modelling Language (UML) é uma linguagem de modelagem que pode ser usada para gerar modelos executáveis de computador que codificam aspectos-chave de projetos de engenharia de software (KIM et al., 2003). Segundo Grangel, Bigand e Bourey (2010), embora a UML tenha sido usado com sucesso para modelar e desenvolver sistemas de TI em diferentes domínios, ela também pode ser útil no contexto da modelagem de empresas. Já para Bertoni et al. (2009), com seu uso, pode ser difícil representar alguns conceitos básicos de

negócios, tais como fluxos de controle ou responsabilidades de pessoas, bem como vincular custos ou informações organizacionais à descrição do processo.

Para Nurcan (1998) a Enterprise Knowledge Development (EKD) também denominada como For Enterprise Modeling (4EM) por Sandkuhl et al. (2014) fornece uma forma sistemática de documentar e analisar a organização e seus componentes, e de acordo com Kavakli et al. (2006), com ela a modelagem é alcançada por meio da modelagem das metas organizacionais (as quais expressam os objetivos intencionais que controlam e governam sua operação), dos processos físicos (os quais colaborativamente operacionalizam as metas organizacionais) e dos sistemas de *software* (os quais apoiam os processos anteriores).

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre alguns dos principais métodos de modelagem de empresas (CARVALHO; GUERRINI, 2017; DAABOUL et al., 2014; GUERRINI; PELLEGRINOTTI, 2016; LAKHOVA; RAHMOUNI, 2011), visando apresentar se ela atende ou não os quesitos analisados, tidos como importantes para a modelagem de empresas.

Tabela 2 - Comparação entre os principais métodos de modelagem de empresas

Método	Objetivo	Decisão	Atividade	Dados	Organização	Informações	Processo
ARIS	-	-	X	X	X	X	X
BPMN	X	-	-	X	X	X	X
CIMOSA	X	-	X	X	X	X	X
GERAM	X	X	-	X	-	X	-
GRAI	-	X	X	-	X	X	X
IDEF	-	-	X	X	-	-	X
ORDIT	-	-	X	X	X	X	-
PERA	X	X	X	X	X	X	-
SADT	-	-	X	-	-	-	X
UML	-	-	X	-	X	-	X
4EM	X	X	X	X	X	X	X

Com o propósito de analisar e realizar a modelagem de empresas do processo de transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0 foi utilizado o método 4EM, pois como pode ser visto na Tabela 2 o mesmo atende integralmente uma série de quesitos que outros métodos não contemplam, leva em consideração os aspectos destacados por Berio e Vernadat (2001) para modelagem de empresas, e o resultado final é um conjunto de modelos conceituais que examinam a empresa e seus requisitos sob uma série de perspectivas inter-relacionadas (BUBENKO; PERSSON; STIRNA, 2001). Pádua, Cazarini e Inamasu (2004) realizaram um trabalho sobre a captura dos requisitos organizacionais no desenvolvimento de sistemas de informação a partir das técnicas e métodos de modelagem de empresas, no qual avaliaram as

principais técnicas. Como resultado, concluiu-se que o 4EM satisfaz 23 dos 28 requisitos técnicos abordados, ao passo que os demais métodos não chegam a cumprir 13 requisitos.

3.2.2.3 Caracterização do método 4EM

Para Sandkuhl et al. (2014), o 4EM propicia um suporte sistemático para analisar, entender e documentar uma empresa, seus objetivos, processos de negócios e sistemas de apoio, baseando-se na modelagem de empresas, a fim de esclarecer todas as atuais funções corporativas, apresentar requisitos e razões necessárias para eventuais e determinadas mudanças organizacionais, expor alternativas para os referidos requisitos, bem como fornecer critérios lógicos e coerentes para a avaliação dessas alternativas. Kirikova (2000), afirma que o método 4EM é destinado a responder as questões: o que, como, onde, quem, quando e por que, e essas entidades podem ser combinadas de diversas formas para produzir o sistema de informação de interesse da organização.

Para Pádua, Cazarini e Inamasu (2004), a utilização do 4EM visa fornecer uma descrição clara e não ambígua de como a organização funciona atualmente, quais são os requisitos e as razões para a mudança, quais alternativas deveriam ser criadas para encontrar esses requisitos e quais são os critérios e argumentos para avaliação dessas alternativas. O 4EM é composto por seis modelos, o Modelo de Objetivos, o Modelo de Regras do Negócio, o Modelo de Processos, o Modelo de Atores e Recursos, o Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos e o Modelo de Conceitos.

O Modelo de Objetivos descreve a visão da estratégia do negócio, focando nas metas e nos problemas que precisam ser resolvidos para atingir tais metas; esclarece questões sobre os rumos que a empresa deve seguir; define quais objetivos são prioritários; determina quais as relações entre os objetivos e quais os problemas ocultos na realização das metas (BUBENKO; BRASH; STIRNA, 1998).

O Modelo de Regras do Negócio é usado para determinar as regras que controlam a organização no sentido de definir e restringir quais ações podem ser executadas no negócio para atingir as metas e deve ser consistente com o Modelo de Objetivos (CASTILLO; CAZARINI, 2014).

O Modelo de Processos define as atividades organizacionais e a forma pela qual os processos interagem e manipulam informações e materiais, descreve qual a interação entre os processos do negócio, esclarece as entradas e saídas do processo (BAJEC; KRISPER, 2005; CASTILLO; CAZARINI, 2014), e permite a obtenção de melhorias como *benchmarking*,

reengenharia de processos de negócio, gestão por processos e melhoria contínua de processos (GREGORIADES; SUTCLIFFE, 2008; NEUBAUER, 2009).

O Modelo de Atores e Recursos visa descrever como atores são inter-relacionados e os objetivos da organização; e esclarecer a quem é designado determinado processo ou tarefa, qual a responsabilidade de cada ator e por quais recursos ele é responsável (CASTILLO; CAZARINI, 2014).

O Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos permite explicitar o potencial da Tecnologia da Informação para melhoria do processo de negócio, estabelecendo um vocabulário comum que compreende todo o ambiente empresarial; e também permite determinar as estruturas e propriedades que deverão compor um futuro sistema de informação (CASTILLO; CAZARINI, 2014; ROLLAND; NURCAN; GROSZ, 2000).

O Modelo de Conceitos é usado para definir coisas e fenômenos apresentados nos outros modelos, conceitos e aplicações de dados no nível conceitual (CASTILLO; CAZARINI, 2014); e também é usado para definir as entidades, atributos e relacionamentos da empresa, visando evitar incompreensões e interpretações diferentes dos termos usados no negócio (BAJEC; KRISPER, 2005).

A estrutura do método 4EM é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura do método 4EM

Fonte: Adaptado de Bubenko, Brash e Stirna (1998) e de Sandkuhl et al. (2014).

Bubenko, Brash e Stirna (1998) descrevem as ligações entre os submodelos do 4EM como:

- Ligações entre o Modelo de Objetivos e o Modelo de Atores e Recursos podem motivar ou requerer a introdução de novos atores particulares e podem descrever quais componentes do Modelo de Atores e Recursos são responsáveis por alcançar um objetivo particular ou defini-lo;
- Ligações entre o Modelo de Atores e Recursos e o Modelo de Regras do Negócio descrevem como componentes diferentes do Modelo de Atores e Recursos são relacionados a regras do negócio do Modelo de Processos do Negócio. Exemplos de nomes de ligações são define, é responsável por;
- Ligações entre o Modelo de Objetivos e o Modelo de Conceitos são usadas para descrever componentes do Modelo de Objetivos, que referenciam entidades do Modelo de Conceitos;

- Ligações entre o Modelo de Objetivos e o Modelo de Processos relacionam objetivos do Modelo de Objetivos a processos do Modelo de Processos com o relacionamento motiva;
- Ligações entre o Modelo de Objetivos e o Modelo de Regras do Negócio descrevem como componentes diversos do Modelo de Objetivos são implementados em termos de regras do negócio no Modelo de Regras do Negócio;
- Ligações entre o Modelo de Regras do Negócio e o Modelo de Processos descrevem como processos do Modelo de Processos são disparados pelas regras do negócio do Modelo de Regras do Negócio;
- Ligações entre o Modelo de Processos e o Modelo de Conceitos estão entre o conjunto de informações do Modelo de Processos e os componentes do Modelo de Conceitos;
- Ligações entre o Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos e outros componentes do modelo podem ser mais complexas do que os relacionamentos binários normais. O Modelo de Processos motiva os objetivos e os requisitos do sistema de informação.

O Quadro 2 apresenta os principais conectores utilizados no método 4EM para representar os relacionamentos entre as entidades que compõem os modelos (SANDKUHL et al., 2014).

Quadro 2 - Conectores utilizados nos modelos do método 4EM

Modelos do método 4EM	Conectores	Finalidades
Objetivos		Usado para especificar um conjunto de subobjetivos alternativos que apoiam um objetivo. Um único subobjetivo do conjunto é suficiente para satisfazer um objetivo. (Decomposição OU)
	Usado para especificar um conjunto de subobjetivos únicos que são necessários para atender um objetivo. (Decomposição E)
	É usado para especificar um conjunto de subobjetivos alternativos para apoiar um objetivo. Uma combinação de subobjetivos no conjunto satisfará um objetivo.
Regras do Negócio		Usado para especificar um conjunto de subregras alternativas que apoiam uma regra. Uma única subregra do conjunto é suficiente para satisfazer ou apoiar a regra principal. (Decomposição OU)
	Usado para especificar um conjunto de subregras únicas que são necessárias para atender ou apoiar a regra principal. (Decomposição E)
	É usado para especificar um conjunto de subregras alternativas para apoiar uma regra. Uma combinação de subregras no conjunto satisfará uma regra.
Processos		É usado para especificar que dois processos se unem para formar um conjunto de informações ou materiais.
	É usado para especificar que um processo se divide para formar dois conjuntos de informações ou materiais.
	É usado para especificar que um conjunto de informações ou materiais se divide para formar dois conjuntos de informações ou materiais, ou para gerar dois processos.
	É usado para especificar que dois conjuntos de informações ou materiais se unem para formar um conjunto de informações ou materiais, ou para gerar um processo.

Quadro 2 - Conectores utilizados nos modelos do método 4EM (Continuação)

Modelos do método 4EM	Conectores	Finalidades
Atores e Recursos		Usado para representar generalização total. (É UM)
	Usado para representar generalização parcial. (É UM)
	Usado para representar agregação total. (É PARTE DE)
	Usado para representar agregação parcial. (É PARTE DE)
Componentes e Requisitos Técnicos		Usado para representar agregação total. (É PARTE DE)
	Usado para representar agregação parcial. (É PARTE DE)
	Usado para especificar um conjunto de subobjetivos alternativos que apoiam um objetivo do sistema de informação. Um único subobjetivo do conjunto é suficiente para satisfazer um objetivo do sistema de informação. (Decomposição OU)
	Usado para especificar um conjunto de subobjetivos únicos que são necessários para atender um objetivo do sistema de informação. (Decomposição E)
Conceitos		Usado para representar generalização total. (É UM)
	Usado para representar generalização parcial. (É UM)
	Usado para representar agregação total. (É PARTE DE)
	Usado para representar agregação parcial. (É PARTE DE)

A notação dos componentes do Modelo de Processos difere da notação dos outros modelos do método 4EM. O Quadro 3 apresenta os componentes do supracitado modelo (SANDKUHL et al., 2014).

Quadro 3 - Notação dos componentes do Modelo de Processos

Componente	Descrição
Processo realizado na organização. É controlado por um conjunto de regras, indicando como processar as entradas e produzir as saídas.
Conjunto de informações ou materiais enviado de um processo ou processo externo a outro processo.
Processo realizado externamente à organização. Comunica-se com processos ou atividades da área domínio do problema e é essencial que seja documentado.

Tendo em vista tais características do método 4EM e que de acordo com Long, Zeiler e Bertsche (2016), a Indústria 4.0 possui características especiais e desafios que ainda não foram considerados em técnicas de modelagem, pode-se verificar que o 4EM pode ser aplicado para modelagem de empresas de Indústrias 4.0, uma vez que, como já descrito, visa demonstrar de maneira clara o funcionamento de uma organização e também apontar os requisitos e razões para uma possível mudança na estrutura organizacional.

3.3 Modelo de empresas para transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0

Segundo o profissional entrevistado, para que uma empresa alcance o paradigma das Indústrias 4.0 é necessário que a mesma avalie o que o mercado disponibiliza; analise o que é importante para si a curto, médio e longo prazo; defina as estratégias organizacionais; crie projetos piloto; e dissemine o projeto em outras unidades industriais. De acordo com a experiência obtida pelo profissional em projetos de implantação, as áreas mais afetadas com a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 são a TI, automação e alta gerência. Porém, é importante ressaltar que a adequação ao paradigma da Indústria 4.0 é bastante complexa, e assim, as experiências obtidas durante o projeto variam muito entre as organizações. Com base nas informações disponibilizadas pelo profissional entrevistado, nesta pesquisa foram desenvolvidos os Modelos de Objetivos, Regras de Negócio, Processos, Atores e Recursos, Componentes e Requisitos Técnicos, e Conceitos, descritos a seguir.

3.3.1 Modelo de Objetivos

A Figura 3 apresenta o Modelo de Objetivos do processo de adaptação ao paradigma das Indústrias 4.0. O principal objetivo almejado por uma empresa que visa adequar-se a este paradigma é o de fortalecer a competitividade (Objetivo 1), em virtude da grande competição e desenvolvimento tecnológico imposto pelo mercado. O alcance deste objetivo possibilita o aumento das receitas (Oportunidade 1) e diminuição das despesas (Oportunidade 2).

O fortalecimento da competitividade das empresas (Objetivo 1) é diretamente apoiado pelo aumento da eficiência produtiva (Objetivo 2), o qual, quando alcançado, traz os seguintes resultados: aumento da qualidade dos produtos e processos (Oportunidade 6), sustentabilidade das operações (Oportunidade 8), diminuição da variabilidade dos processos produtivos (Oportunidade 7), diminuição de refugos, *recall* e retrabalho (Oportunidade 5), redução de estoques (Oportunidade 3) e diminuição do tempo de entrega dos produtos (Oportunidade 4). Para que haja aumento da eficiência produtiva (Objetivo 2), é necessário confrontar a resistência cultural dos funcionários (Restrição 1), pois, segundo o profissional entrevistado, em muitas empresas o pessoal que trabalha no chão de fábrica sente-se intimidado ao saber que está sendo monitorado. Na visão dele, o fornecimento de treinamento para lidar com as tecnologias fornecidas pela Indústria 4.0 é uma boa opção para eliminar esta resistência.

O aumento da eficiência produtiva (Objetivo 2) é apoiado pelo processamento de grande quantidade de informações (Objetivo 3) e garantia de segurança operacional (Objetivo 5). A falta de investimentos em infraestrutura de comunicação, redes sem fio industriais e sensoriamento de máquinas (Restrição 2) dificulta o processamento de grande quantidade de informações (Objetivo 3), o qual, quando alcançado, possibilita maior integração empresarial (Oportunidade 9).

A garantia de segurança operacional (Objetivo 5) possibilita a diminuição no tempo de parada não programada (Oportunidade 12), e auxilia na diminuição de riscos de acidentes (Oportunidade 13), no atendimento à normas de segurança (Oportunidade 14) e na manutenção preditiva de máquinas (Oportunidade 15). Porém, para que estes benefícios sejam alcançados, é necessário confrontar a resistência cultural dos funcionários (Restrição 1).

A integração entre sistemas (Objetivo 4) apoia o processamento de grande quantidade de informações (Objetivo 3) e possibilita a diminuição de erros (Oportunidade 10) e tomada de decisões em tempo real (Oportunidade 11). Entretanto, para que haja integração entre sistemas (Objetivo 4) é necessário vencer a resistência cultural dos funcionários (Restrição 1) e eliminar

a pluralidade (Restrição 3) e customização (Restrição 4) dos sistemas existentes em uma empresa, pois muitos deles possuem interface pouco amigável.

Figura 3 - Modelo de Objetivos

3.3.2 Modelo de Regras do Negócio

A Figura 4 apresenta o Modelo de Regras do Negócio do processo de adaptação ao paradigma das Indústrias 4.0. Para alcançar o objetivo de fortalecer a competitividade da empresa (Objetivo 1) é necessário que haja uma implantação eficiente das tecnologias da Indústria 4.0 (Regra 1), integração entre os departamentos da empresa (Regra 2) e comunicação entre os níveis estratégico, tático e operacional (Regra 3). Por parte da empresa adquirente das tecnologias da Indústria 4.0, a capacitação dos profissionais técnicos envolvidos (Regra 1.1), criação de uma equipe dedicada ao projeto de implantação (Regra 1.2) e investimento na gestão da mudança organizacional (Regra 1.3) apoiam a implantação eficiente das tecnologias da Indústria 4.0 (Regra 1). Segundo o profissional entrevistado, a falta de capacitação técnica dos profissionais das empresas adquirentes, baixa integração entre os departamentos e falta de dedicação exclusiva ao projeto são os principais fatores que impedem o sucesso da implantação. Destas barreiras, a falta de dedicação é a de maior relevância, pois como os funcionários têm uma jornada de trabalho árdua e que exige muitas funções, quando eles não lidam exclusivamente com o projeto a adaptação passa a ser vista como mais uma tarefa rotineira, o que leva à desconsideração de muitos aspectos importantes.

Para que haja aumento da eficiência produtiva (Objetivo 2), é necessário ter digitalização das informações (Regra 4), investimento em infraestrutura de comunicação, redes sem fio industriais e sensoriamento de máquinas (Regra 5), e treinamento dos usuários finais das tecnologias da Indústria 4.0 (Regra 6). O investimento em infraestrutura de comunicação, redes sem fio industriais e sensoriamento de máquinas (Regra 5) também é necessário para alcançar o objetivo de processamento de grande quantidade de informações (Objetivo 3).

A integração entre sistemas (Objetivo 4) necessita do envolvimento das equipes que trabalham com os sistemas da empresa (Regra 7) e de uma interface padronizada e aberta de integração entre os sistemas (Regra 8), para permitir que as equipes envolvidas tenham a capacidade de julgar qual tipo de informação é importante.

O envolvimento das equipes de TI e de gestão de processos produtivos (Regra 9) é necessário para garantir segurança operacional (Objetivo 5), pois tal envolvimento permite verificar a confiabilidade e coerência das informações relacionadas aos processos.

Figura 4 - Modelo de Regras do Negócio

3.3.3 Modelo de Processos

A Figura 5 apresenta o Modelo de Processos do projeto de transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0. De modo geral, os processos transformam determinadas informações e/ou materiais (*input*) em outras informações e/ou materiais (*output*).

Com a formulação da estratégia da empresa para alcançar a filosofia da Indústria 4.0 (InfoSet 1), deve-se reunir o pessoal da área técnica de engenharia da empresa (Processo 1) para que sejam atribuídos os papéis e responsabilidades de cada funcionário. A realização da(s) reunião(ões) resulta na definição das necessidades da empresa quanto à aquisição de tecnologia(s) da Indústria 4.0 (InfoSet 2). De posse de tal conjunto de definições, deve-se analisar as tecnologias disponíveis no mercado (Processo 2), o que resulta no esboço do projeto (InfoSet 3). Após contratar empresa fornecedora de tecnologias (Processo 3), um contrato de serviço (InfoSet 4) é elaborado.

De acordo com o profissional entrevistado, para a execução das atividades do projeto, uma empresa adquirente pode seguir duas estratégias, ambas envolvendo uma empresa fornecedora de tecnologias da Indústria 4.0: qualificar seus próprios funcionários técnicos para que eles mesmos desenvolvam o projeto (Processo 4), ou comprar tecnologia(s) da empresa fornecedora (Processo 5).

Caso a empresa adquirente resolva comprar tecnologia(s) da Indústria 4.0 (Processo 5), após a aquisição da(s) tecnologia(s) (InfoSet 6), inicia-se o processo de implantação (Processo 7). Alternativamente, a qualificação de seus próprios funcionários técnicos (Processo 4), resulta na obtenção de certificações (InfoSet 5). Os profissionais devidamente habilitados desenvolvem a(s) tecnologia(s) da Indústria 4.0 (Processo 6) e apresentam os resultados à empresa, a qual disponibiliza a aprovação do início do projeto (InfoSet 7), o que resulta no início do processo de implantação (Processo 7).

Segundo o profissional entrevistado, o processo de implantação da(s) tecnologia(s) da Indústria 4.0 (Processo 7) é bastante complexo, envolvendo atividades como integração dos vários departamentos da empresa adquirente, visitas técnicas à empresa, testes da(s) tecnologia(s) implantada(s) etc. A conclusão bem-sucedida do processo de implantação (Processo 7) resulta na parametrização da(s) tecnologia(s) (InfoSet 8). Após os funcionários que serão usuários finais da(s) tecnologia(s) adquirida(s) serem devidamente treinados (Processo 8), o projeto de implantação é validado (InfoSet 9).

Figura 5 - Modelo de Processos

3.3.4 Modelo de Atores e Recursos

Nas Figuras 6 e 7 estão descritos os papéis, processos e recursos de responsabilidade dos principais profissionais envolvidos no projeto de implantação de tecnologia(s) da Indústria 4.0, tendo como base as experiências vivenciadas pelo profissional entrevistado.

Tendo em vista que de acordo com o profissional entrevistado, para a execução das atividades do projeto, uma empresa adquirente pode seguir duas estratégias, o Modelo de Atores e Recursos apresentado nesta pesquisa contempla as duas situações distintas. Logo, o referido modelo está dividido em situações de qualificação dos próprios funcionários técnicos ou compra de tecnologia(s) de empresa fornecedora.

3.3.4.1 Modelo de Atores e Recursos - compra de tecnologia(s) de empresa fornecedora

A Figura 6 apresenta o Modelo de Atores e Recursos na situação de compra de tecnologia(s) de empresa fornecedora.

A empresa fornecedora de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 1) disponibiliza o Representante Comercial (Unidade Individual 1) e Engenheiro (Unidade Individual 2) para executar as atividades necessárias para a execução do projeto na empresa adquirente de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2).

O Representante Comercial (Unidade Individual 1) é responsável por reunir o pessoal da área técnica (Processo 1) das duas empresas, definir o orçamento (Recurso 1), receber os recursos financeiros (Recurso 2) e levantar a(s) tecnologia(s) necessárias para a empresa adquirente (Recurso 3).

O Engenheiro (Unidade Individual 2) é responsável pela implantação da(s) tecnologia(s) da Indústria 4.0 (Processo 7), parametrização da(s) tecnologia(s) (Recurso 4) e treinamento dos usuários finais da(s) tecnologia(s) (Processo 8).

O Representante Comercial (Unidade Individual 3) da empresa adquirente de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2) é responsável por aprovar o orçamento (Recurso 1), liberar os recursos financeiros (Recurso 2), analisar as tecnologias disponíveis no mercado (Processo 2) e contratar empresa fornecedora de tecnologias (Processo 3). Já o Comprador (Unidade Individual 5) é responsável por comprar a(s) tecnologia(s).

O Engenheiro (Unidade Individual 4) e o Analista de TI (Unidade Individual 6) da empresa adquirente de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2) auxiliam na parametrização da(s) tecnologia(s) adquirida(s) (Recurso 4), e, assim como os profissionais da

área produtiva (Unidade Individual 7), recebem treinamento (Recurso 5) e exercem o papel de usuários finais da(s) tecnologia(s) (Papel 1).

Figura 6 - Modelo de Atores e Recursos - compra de tecnologia(s) de empresa fornecedora

3.3.4.2 Modelo de Atores e Recursos - qualificação dos próprios funcionários técnicos

A Figura 7 apresenta o Modelo de Atores e Recursos na situação de qualificação dos próprios funcionários técnicos.

A empresa fornecedora de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 1) disponibiliza o Representante Comercial (Unidade Individual 1) e Engenheiro (Unidade Individual 2) para executar as atividades necessárias para a execução do projeto na empresa adquirente de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2).

O Representante Comercial (Unidade Individual 1) é responsável por reunir o pessoal da área técnica (Processo 1) das duas empresas, definir o orçamento (Recurso 1) e receber os recursos financeiros (Recurso 2). Já o Engenheiro (Unidade Individual 2) é responsável por qualificar os funcionários técnicos (Processo 4) da empresa adquirente.

O Representante Comercial (Unidade Individual 3) da empresa adquirente de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2) é responsável por aprovar o orçamento (Recurso 1), liberar os recursos financeiros (Recurso 2) e contratar empresa fornecedora de tecnologias (Processo 3).

O Engenheiro (Unidade Individual 4) e o Analista de TI (Unidade Individual 6) da empresa adquirente de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2) são responsáveis pelo desenvolvimento da(s) tecnologia(s) (Processo 6), implantação da(s) tecnologia(s) (Processo 7), parametrização da(s) tecnologia(s) (Recurso 4) e treinamento dos usuários finais da(s) tecnologia(s) (Processo 8).

Os profissionais da área produtiva (Unidade Individual 7) recebem o treinamento (Recurso 5), e, assim como o Engenheiro (Unidade Individual 4) e o Analista de TI (Unidade Individual 6), exercem o papel de usuários finais da(s) tecnologia(s) (Papel 1).

Figura 7 - Modelo de Atores e Recursos - qualificação dos próprios funcionários técnicos

3.3.5 Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos

A Figura 8 apresenta o Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos para auxílio ao projeto de transformação digital (com consequente implantação de tecnologias relacionadas) ao paradigma das Indústrias 4.0.

Com base nas informações disponibilizadas, o sistema de informação para apoio ao projeto de implantação da(s) tecnologia(s) da Indústria 4.0 tem como objetivo disponibilizar acesso remoto (Objetivo SI 1) aos profissionais da empresa fornecedora de tecnologias. Este sistema deve ser acessado pelo Engenheiro (Unidade Individual 2) da empresa fornecedora de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 1) e pelo Engenheiro (Unidade Individual 4) e Analista de TI (Unidade Individual 6) da empresa adquirente de tecnologias da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2).

O sistema para fornecimento de acesso remoto (Objetivo SI 1) considera requisitos funcionais (que tangem a utilização do sistema de informação pretendido), bem como não funcionais (que tange as medidas de segurança, usabilidade e acessibilidade etc.). Tal sistema deve possuir robustez (Requisito Não Funcional 1); proporcionar interface amigável ao usuário (Requisito Não Funcional 2); fornecer segurança (Requisito Não Funcional 3), de modo a restringir o acesso apenas aos envolvidos nos processos; e ter baixo custo (Requisito Não Funcional 4).

O sistema para fornecimento de acesso remoto (Objetivo SI 1) tem como requisitos funcionais: permitir o envio e recebimento de arquivos (Requisito Funcional 1) e possibilitar a realização virtual de atividades (Requisito Funcional 2). Com estes requisitos funcionais e não funcionais, este sistema possibilita redução de custos (Oportunidade 1), diminuição do tempo de resposta (Oportunidade 2) e auxílio à assistência técnica pós-venda (Oportunidade 3), e apoia a implantação eficiente da(s) tecnologia(s) da Indústria 4.0 (Regra 1).

Figura 8 - Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos

3.3.6 Modelo de Conceitos

A Figura 9 apresenta o Modelo de Conceitos do projeto de transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0.

A Indústria 4.0 (Conceito 1), possui diversos princípios associados, dentre os quais merecem destaque: agilidade (Princípio 1), transparência (Princípio 2), empoderamento (Princípio 3), compartilhamento (Princípio 4), colaboração (Princípio 5), resiliência (Princípio 6), inovação (Princípio 7), auto-organização (Princípio 8), interoperabilidade (Princípio 9), virtualização (Princípio 10), descentralização (Princípio 11), capacidade em tempo real (Princípio 12), orientação ao serviço (Princípio 13), modularidade (Princípio 14), segurança da informação (Princípio 15) e sustentabilidade (Princípio 16).

A Indústria 4.0 (Conceito 1) pode ser considerada uma empresa digital (Conceito 2), pois busca enfrentar os novos desafios que o mercado competitivo impõe, e para isso, a referida organização necessita de gestão do conhecimento (Conceito 4), coleta de dados internos (Conceito 6) e análise de mercado (Conceito 7).

Em sua dinâmica, a Indústria 4.0 (Conceito 1) envolve a manufatura inteligente (Conceito 3), impressão 3D (Conceito 5), sistemas ciber-físicos (Conceito 8), internet das coisas (Conceito 9), internet de serviços (Conceito 10), responsabilidade social corporativa (Conceito 11) e customização em massa (Conceito 12).

Figura 9 - Modelo de Conceitos

3.4 Discussão dos resultados

A construção dos modelos apresentados na seção 3 foi baseada em uma opinião de especialista que trabalha em uma das principais empresas brasileiras fornecedoras de tecnologias da Indústria 4.0. O método 4EM foi escolhido para a modelagem de empresas do projeto de transformação digital ao paradigma da Indústria 4.0 pelo fato de ele propiciar uma forma sistemática de analisar e documentar os componentes de uma empresa.

O Modelo de Objetivos apresentado facilitou a compreensão das estratégias, detalhamento das metas almejadas por uma organização e oportunidades advindas com a adaptação ao paradigma, bem como a visualização das restrições que impedem o alcance dos objetivos. Embora não seja o principal objetivo almejado, é importante ressaltar que, de acordo com o profissional entrevistado, o aumento da eficiência produtiva (Objetivo 2) é imprescindível para as empresas brasileiras no momento atual, pois devido à crise econômica vivenciada, muitas organizações estão diminuindo os turnos de trabalho ao passo que mantêm a quantidade de produtos e serviços fornecidos. Ainda, de acordo com o profissional, mais de 50% das empresas não tem objetivos bem-definidos ao adotarem tecnologias de Indústrias 4.0, visto que muitas apenas seguem tendências ou o que os concorrentes estão fazendo, e, ao fazerem isso, adotam tecnologias que não são adequadas à sua necessidade. Assim, o Modelo de Objetivos apresentado pode vir a ser um referencial para orientação de futuras aquisições.

As diretrizes do Modelo de Regras do Negócio além de possuírem estreita relação com os objetivos almejados, sinalizaram também as principais considerações a serem feitas durante a realização das atividades do projeto. Segundo o profissional entrevistado, o investimento na gestão da mudança organizacional (Regra 1.3) por parte da empresa adquirente da(s) tecnologia (s) é tão importante para sucesso da implantação do projeto quanto a capacitação técnica e dedicação exclusiva dos profissionais envolvidos, e forte integração entre os departamentos. Liboni, Liboni e Cezarino (2018) afirmam que a questão da cultura organizacional é um problema no Brasil e as empresas devem despendar tempo e esforço para educar e treinar funcionários. É importante que os funcionários compreendam que a médio e longo prazos a adaptação traz benefícios tais como diminuição de paradas em processos, eliminação de danos e paradas em máquinas e equipamentos, redução de acidentes, dentre outros.

O Modelo de Processos desenvolvido mapeou os fluxos físico (de profissionais e materiais) e lógico (de informações) realizados durante o projeto de implantação. Segundo o profissional entrevistado, o *benchmarking* é bastante importante no âmbito da Indústria 4.0, pois antes de implantarem as tecnologias relacionadas ao paradigma, algumas empresas visitam

outras organizações que já desenvolveram projetos semelhantes, a fim de avaliar os resultados obtidos.

O Modelo de Atores e Recursos permitiu visualizar o vínculo existente entre as organizações, apresentou de modo geral os papéis que profissionais envolvidos no projeto exercem, e mostrou os processos e recursos pelos quais eles são responsáveis. É importante ressaltar que este modelo é bastante complexo e fica difícil padronizar as responsabilidades de cada profissional. Segundo o profissional entrevistado, o tipo de profissional envolvido no projeto varia muito de acordo com a tecnologia que a empresa adquire. Projetos de aquisição de tecnologias voltadas para a área de gestão de processos produtivos envolvem Engenheiro de Processos e de Qualidade; projetos voltados para a área de segurança da informação envolvem o pessoal da TI ou um CEO; ao passo que projetos de melhoria de eficiência ou aumento de qualidade envolvem Engenheiro de Produção e Diretor Industrial. Por isso, é necessário que empresas adquirentes criem uma equipe multidisciplinar, competente, integrada e que entenda bem todas as necessidades do projeto.

Com relação ao Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos e ao(s) sistema(s) de informação de apoio ao projeto, o profissional entrevistado informou não haver necessidade de adquirir um sistema de informação específico, pois aplicativos gratuitos podem auxiliar plena e satisfatoriamente a realização das atividades. Para auxílio em emergências ou urgência o Whatsapp é um excelente meio de comunicação. Para a comunicação formal ou transferência de documentos jurídicos, serviços gratuitos de webmail são suficientes. Já em situações que necessitem de transferência, armazenamento ou sincronização de arquivos de grande espaço, bem como exijam a instalação ou configuração virtuais de tecnologias, o TeamViewer e Skype são plenamente úteis.

O Modelo de Conceitos apresentou os principais princípios (agilidade, auto-organização, colaboração, compartilhamento, empoderamento, inovação, interoperabilidade, resiliência, sustentabilidade, transparência, virtualização etc.), termos relacionados (empresa digital, manufatura inteligente) e tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 (internet das coisas, internet de serviços, sistemas ciber-físicos, impressão 3D etc.). No processo de validação do modelo, os avaliadores detectaram a necessidade de inserção do termo customização em massa no Modelo de Conceitos, pois este representa um importante conceito relacionado às Indústrias 4.0.

3.5 Considerações finais

A iniciativa conhecida como Indústria 4.0 tem obtido grande atenção por seu potencial de reunir um conjunto de tecnologias que podem ajudar a conseguir maior eficiência em processos produtivos. A Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial, sendo ao mesmo tempo uma grande oportunidade e um desafio muito complexo e exigente para as empresas.

Considerando que a modelagem de empresas auxilia no desenvolvimento de empresas inteligentes e que a Indústria 4.0 necessita de métodos avançados de modelagem de empresas, esta pesquisa teve como finalidade desenvolver e apresentar modelos de empresas embasados no método 4EM. Por meio de uma revisão de literatura sobre métodos utilizados para modelagem de empresas, foi verificado que o 4EM é o mais adequado, por ser bastante abrangente.

As informações necessárias para o desenvolvimento e apresentação dos modelos foram obtidas por meio de opinião de especialista que trabalha em uma empresa brasileira fornecedora de tecnologias para a Indústria 4.0. Desta forma, os modelos desenvolvidos apresentam uma visão abrangente e confiável sobre os principais requisitos necessários para a transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0. Esses modelos permitem que pesquisadores, empreendedores e interessados no desenvolvimento de tais organizações possam compreendê-las melhor e analisá-las a partir de outros recortes analíticos.

3.5.1 Contribuições da pesquisa

As principais contribuições da pesquisa foram:

- Apoio ao aumento do conhecimento de pesquisadores acadêmicos e profissionais de mercado sobre projetos de implantação de tecnologias da Indústria 4.0, ao apresentar e forma sistemática uma visão geral sobre o desenvolvimento de tais projetos.
- Representação do projeto de implantação de tecnologias da Indústria 4.0 no modelo de empresas que foi desenvolvido e sistematizado com os modelos de Objetivos, Regras do Negócio, Processos, Atores e Recursos, Componentes e Requisitos Técnicos, e Conceitos do método 4EM, o que além de permitir obter uma visão geral da situação atual de tais projetos, apoia a sua análise ou orientação a partir de outras perspectivas.
- Fornecimento de uma base adequada para *benchmarking* de empresas interessadas na adaptação ao paradigma da Indústria 4.0, sem a necessidade de tais empresas entrarem em contato com outras organizações que já se adaptaram.

- Contribuição para a literatura de Indústrias 4.0, ao preencher lacunas de pesquisa sinalizadas em trabalhos anteriores.

3.5.2 Limitações da abordagem e pesquisas futuras

Com relação às limitações inerentes a esta pesquisa deve ser destacada o não atendimento a todas as sugestões propostas pelo método 4EM. Na descrição do método é indicado reunir um grupo de pessoas para realizar a modelagem do(s) projeto(s) na organização em questão. Para a realização da entrevista, devido às restrições impostas pela Diretoria, apenas um profissional pôde participar da entrevista.

O presente trabalho foi desenvolvido com base em um único especialista para explorar os assuntos em questão. Pesquisas posteriores devem fornecer informações mais sistemáticas sobre os tópicos de pesquisa abordados aqui, entrevistando um número maior de especialistas. Considerando que as informações desta pesquisa são provenientes da experiência de uma empresa fornecedora de tecnologias da Indústria 4.0, as pesquisas a serem realizadas devem contemplar o recorte analítico baseado na visão de empresas usuárias.

Dos modelos de empresas apresentados, o Modelo de Processos é o que melhor representa uma boa oportunidade para futuras pesquisas, pois devido à complexidade do processo de implantação de tecnologias da indústria 4.0, o profissional entrevistado não o detalhou minuciosamente. Para o desenvolvimento da temática, é importante realizar pesquisas em empresas usuárias de tecnologia(s) específica(s) da Indústria 4.0 que forneçam informações detalhadas sobre a tecnologia adquirida, características da empresa (funcionários, máquinas e equipamentos afetados pela adequação ao paradigma), nível de automação e atividades realizadas durante a implantação.

3.6 Referências

- ABDMOULEH, A.; SPADONI, M.; VERNADAT, F. Distributed client/server architecture for CIMOSA-based enterprise components. **Computers in Industry**, v. 55, n. 3, p. 239-253, 2004.
- ALEXOPOULOS, K. et al. A concept for context-aware computing in manufacturing: the white goods case. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 8, p. 839-849, 2016.
- ALMEIDA, J. P. A.; GUIZZARDI, G.; SANTOS JÚNIOR, P. S. Applying and extending a semantic foundation for role-related concepts in enterprise modelling. **Enterprise Information Systems**, v. 3, n. 3, p. 253-277, 2009.

BAJEC, M.; KRISPER, M. A methodology and tool support for managing business rules in organizations. **Information Systems**, v. 30, n. 6, p. 423-443, 2005.

BERIO, G.; VERNADAT, F. B. New developments in enterprise modelling using CIMOSA. **Computers in Industry**, v. 40, n. 2-3, p. 99-114, 1999.

_____. Enterprise modelling with CIMOSA: functional and organizational aspects. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 12, n. 2, p. 128-136, 2001.

BERTONI, M. et al. PLM paradigm: how to lead BPR within the product development field. **Computers in Industry**, v. 60, n. 7, p. 476-484, 2009.

BHUIYAN, N.; THOMSON, V. The use of continuous approval methods in defence acquisition projects. **International Journal of Project Management**, v. 17, n. 2, p. 121-129, 1999.

BIDER, I. et al. A fractal enterprise model and its application for business development. **Software & Systems Modeling**, v. 16, n. 3, p. 663-689, 2017.

BOKRANTZ, J. et al. Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030. **International Journal of Production Economics**, v. 191, p. 154-169, 2017.

BRAHA, D.; STACEY, B.; BAR-YAM, Y. Corporate competition: a self-organized network. **Social Networks**, v. 33, n. 3, p. 219-230, 2011.

BUBENKO, J.; BRASH, D.; STIRNA, J. **EKD user guide**. ELEKTRA: Electrical Enterprise Knowledge for Transforming Applications: Project n. 22927, 1998.

BUBENKO, J.; PERSSON, A.; STIRNA, J. EKD D3: User guide of the knowledge management approach using enterprise knowledge patterns. **Hyperknowledge IST-2000-28401**, 2001.

CARVALHO, H. L.; GUERRINI, F. M. Reference model for implementing ERP systems: an analytical innovation networks perspective. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 28, n. 4, p. 281-294, 2017.

CASTILLO, L. A. M.; CAZARINI, E. W. Integrated model for implementation and development of knowledge management. **Knowledge Management Research & Practice**, v. 12, n. 2, p. 145-160, 2014.

CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. BPMN: An introduction to the standard. **Computer Standards & Interfaces**, v. 34, n. 1, p. 124-134, 2012.

CISTERNINO, V. et al. Business rules for semantics-aware business modelling: overview and open issues. **International Journal of Web Engineering and Technology**, v. 5, n. 1, p. 104-131, 2009.

DAABOUL, J. et al. Value network modelling and simulation for strategic analysis: a discrete event simulation approach. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 17, p. 5002-5020, 2014.

DOUMEINGTS, G. et al. Production management and enterprise modelling. **Computers in Industry**, v. 42, n. 2-3, p. 245-263, 2000.

DOUMEINGTS, G.; DUCQ, Y. Enterprise modelling techniques to improve efficiency of enterprises. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 12, n. 2, p. 146-163, 2001.

FORD, M. Industry 4.0: who benefits? **SMT: Surface Mount Technology**, v. 30, p. 52-55, 2015.

GARCIA-MUIÑA, F. et al. The Paradigms of Industry 4.0 and Circular Economy as Enabling Drivers for the Competitiveness of Businesses and Territories: The Case of an Italian Ceramic Tiles Manufacturing Company. **Social Sciences**, v. 7, n. 12, p. 255, 2018.

GENTNER, S. Industry 4.0: reality, future or just science fiction? How to convince today's management to invest in tomorrow's future! Successful strategies for Industry 4.0 and manufacturing IT. **Chimia**, v. 70, n. 9, p. 628-633, 2016.

GOECKY, D.; KHAMIS, M.; MURA, K. Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 30, n. 1, p. 182-190, 2017.

GRANGEL, R.; BIGAND, M.; BOUREY, J-P. Transformation of decisional models into UML: application to GRAI grids. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 23, n. 7, p. 655-672, 2010.

GREGORIADES, A.; SUTCLIFFE, A. A socio-technical approach to business process simulation. **Decision Support Systems**, v. 45, n. 4, p. 1017-1030, 2008.

GUERRINI, F. M.; PELLEGRINOTTI, C. C. Reference model for collaborative management in the automotive industry. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 27, n. 3, p. 183-197, 2016.

HSU, C-H.; YANG, H-C. Real-time near-optimal scheduling with rolling horizon for automatic manufacturing cell. **IEEE Access**, v. 5, p. 3369-3375, 2017.

JANSEN, C. Developing and Operating Industrial Security Services to Mitigate Risks of Digitalization. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 29, p. 133-137, 2016.

JIA, S.; TANG, R.; LV, J. Machining activity extraction and energy attributes inheritance method to support intelligent energy estimation of machining process. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 27, n. 3, p. 595-616, 2016.

KASSEM, M.; DAWOOD, N.; MITCHELL, D. A structured methodology for enterprise modeling: a case study for modeling the operation of a British organization. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 16, p. 381-410, 2011.

KAVAKLI, E. et al. Incorporating privacy requirements into the system design process: The PriS conceptual framework. **Internet Research**, v. 16, n. 2, p. 140-158, 2006.

KIM, C-H. et al. The complementary use of IDEF and UML modelling approaches. **Computers in Industry**, v. 50, n. 1, p. 35-56, 2003.

KIRIKOVA, M. Explanatory capability of enterprise models. **Data & Knowledge Engineering**, v. 33, n. 2, p. 119-136, 2000.

KOSANKE, K.; VERNADAT, F.; ZELM, M. CIMOSA: enterprise engineering and integration. **Computers in Industry**, v. 40, n. 2-3, p. 83-97, 1999.

KOUSSOURIS, S. et al. Transforming traditional production system transactions to interoperable eBusiness-aware systems with the use of generic process models. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 19, p. 5711-5727, 2010.

LAKHOUA, M. N.; RAHMOUNI, M. Investigation of the methods of the enterprise modeling. **African Journal of Business Management**, v. 5, n. 16, p. 6845-6852, 2011.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LI, H.; WILLIAMS, T. J. Some extensions to the Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA): I. explaining the Purdue architecture and the Purdue methodology using the axioms of engineering design. **Computers in Industry**, v. 34, n. 3, p. 247-259, 1997.

LIBONI, L. B.; LIBONI, L. H. B.; CEZARINO, L. O. Electric utility 4.0: Trends and challenges towards process safety and environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 593-605, 2018.

LIU, M. et al. Intelligent assembly system for mechanical products and key technology based on internet of things. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 28, n. 2, p. 271-299, 2017.

LIU, X. et al. Manufacturing perspective of enterprise application integration: the state of the art review. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 16, p. 4567-4596, 2008.

LONG, F.; ZEILER, P.; BERTSCHE, B. Modelling the production systems in industry 4.0 and their availability with high-level Petri nets. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 145-150, 2016.

MERTINS, K.; JOCHEM, R. Architectures, methods and tools for enterprise engineering. **International Journal of Production Economics**, v. 98, n. 2, p. 179-188, 2005.

MONOSTORI, L. et al. Cyber-physical systems in manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 65, p. 621-641, 2016.

NEUBAUER, T. An empirical study about the status of business process management. **Business Process Management Journal**, v. 15, n. 2, p. 166-183, 2009.

NIGAPPA, K.; SELVAKUMAR, J. Industry 4.0: a cost and energy efficient micro PLC for smart manufacturing. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 44, p. 1-6, 2016.

NURCAN, S. Analysis and design of co-operative work process a framework. **Information and Software Technology**, v. 40, n. 3, p. 143-156, 1998.

OH, E.; SON, S-Y. Toward dynamic energy management for green manufacturing systems. **IEEE Communications Magazine**, v. 54, n. 10, p. 74-79, 2016.

ONG, M. H. et al. Application of enterprise modelling technique for specifying a component-based system. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 219, n. 9, p. 649-664, 2005.

ONG, M. H. et al. A structured approach to evaluating the impact of implementing a component-based system in the automotive engine manufacturing domain. **International Journal of Production Research**, v. 44, n. 13, p. 2645-2670, 2006.

PÁDUA, S. I. D.; CAZARINI, E. W.; INAMASU, R. Y. Modelagem organizacional: captura dos requisitos organizacionais no desenvolvimento de sistemas de informação. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 2, p. 197-209, 2004.

RAHIMIFARD, A.; WESTON, R. The enhanced use of enterprise and simulation modelling techniques to support factory changeability. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 20, n. 4, p. 307-328, 2007.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. A complex view of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016.

ROELEN, B.; STEENACKER, W.; POELS, G. Realizing strategic fit within the business architecture: the design of a process-goal alignment modeling and analysis technique. **Software & Systems Modeling**, v. 18, n. 1, p. 631-662, 2019.

ROLLAND, C.; NURCAN, S.; GROSZ, G. A decision making pattern for guiding the Enterprise Knowledge Development process. **Information and Software Technology**, v. 42, n. 5, p. 313-331, 2000.

SANDKUHL, K. et al. **Enterprise modeling: tackling business challenges with 4EM method**. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

SANTOS, J. P. O.; FERREIRA, J. J. P.; MENDONÇA, J. M. A modelling language for the design and execution of enterprise models in manufacturing. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2000.

SCHLECHTENDAHL, J. et al. Making existing production systems Industry 4.0-ready: Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments. **Production Engineering: Research and Development**, v. 9, n. 1, p. 143-148, 2015.

SEPULCRE, M.; GOZALVEZ, J.; COLL-PERALES, B. Multipath QoS-driven routing protocol for industrial wireless networks. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 74, p. 121-132, 2016.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, v. 60, p. 1146-1155, 2015.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual engineering factory: creating experience base for Industry 4.0. **Cybernetics and Systems**, v. 47, n. 1-2, p. 32-47, 2016.

SHAMIM, S. et al. Examining the feasibilities of Industry 4.0 for the hospitality sector with the lens of management practice. **Energies**, v. 10, n. 4, p. 1-19, 2017.

STRAIN, J.; EASON, K. Exploring the implications of allocation of function for human resource management in the Royal Navy. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 52, n. 2, p. 319-334, 2000.

SUZUKI, Y. et al. Simulation based process design: modeling and applications. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 4, p. 763-781, 2012.

SZEGHEO, O.; PETERSEN, S. A. Extended enterprise engineering - a model-based framework. **Concurrent Engineering: Research and Applications**, v. 8, n. 1, p. 32-39, 2000.

TOH, K. T. K. Modelling architectures: a review of their application in structured methods for information systems specification. **International Journal of Production Research**, v. 37, n. 7, p. 1439-1458, 1999.

UHLMANN, E.; HOHWIELER, E.; GEISERT, C. Intelligent production systems in the era of industry 4.0 - changing mindsets and business models. **Journal of Machine Engineering**, v. 17, n. 2, p. 5-24, 2017.

UPASANI, K. et al. Distributed maintenance planning in manufacturing industries. **Computers & Industrial Engineering**, v. 108, p. 1-14, 2017.

VERNADAT, F. B. **Enterprise modeling and integration: principles and applications**. Londres: Chapman & Hall, 1996.

_____. Enterprise Modeling and Integration (EMI): current status and research perspectives. **Annual Reviews in Control**, v. 26, n. 1, p. 15-25, 2002.

WHITMAN, M. E.; GIBSON, M. L. Enterprise modeling for strategic support. **Information Systems Management**, v. 13, n. 2, p. 64-72, 1996.

WILLIAMS, T. The Purdue Enterprise Reference Architecture. **Computers in Industry**, v. 24, n. 2/3, p. 141-158, 1994.

ZHONG, R. Y. et al. Visualization of RFID-enabled shopfloor logistics Big Data in Cloud Manufacturing. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 84, n. 1, p. 5-16, 2016.

ZÜLCH, G.; RINN, A.; STRATE, O. Dynamic analysis of changes in decisional structures of production systems. **International Journal of Production Economics**, v. 69, n. 2, p. 239-252, 2001.

4. MODELAGEM DE EMPRESAS (*ENTERPRISE MODELING*) DO PROCESSO DE COLABORAÇÃO ENTRE EMPRESAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE SOLUÇÕES RELACIONADAS ÀS INDÚSTRIAS 4.0

Resumo: Como uma das mais importantes estratégias desenvolvidas para o alcance da manufatura inteligente, as Indústrias 4.0 podem proporcionar diversos benefícios para as organizações que adotam este paradigma, dentre os quais podem ser citados a resposta rápida às necessidades do cliente, menor tempo de colocação de novos produtos no mercado, otimização da capacidade produtiva, produção customizada de produtos a baixos custos, processamento de informações em tempo real, melhor uso de energia e exploração de recursos naturais. Entretanto, para a adequada consolidação do paradigma, as organizações devem enfrentar muitos desafios para a implantação bem-sucedida e oportuna das soluções (tecnologias e serviços) relacionadas à Indústria. A literatura sobre o tema afirma que a implantação efetiva de suas soluções ainda carece de muita pesquisa, envolvendo muitos aspectos a serem discutidos. A colaboração entre empresas é um dos aspectos mais importantes para a consolidação das Indústrias 4.0, sendo necessária tanto para a implantação, quanto para a operacionalização das soluções relacionadas ao paradigma. Neste sentido, para facilitar a compreensão do projeto de implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0, este artigo visa desenvolver uma modelagem de empresas do processo, documentando os seus objetivos, regras de negócio, processos, atores e recursos, componentes e requisitos técnicos e conceitos. A modelagem de empresas foi desenvolvida por meio do método For Enterprise Modeling (4EM) e as informações foram obtidas por meio de opinião de especialistas que trabalham em universidades e empresas industriais e de consultoria brasileiras. A contribuição do artigo é a identificação e apresentação das principais metas, regras, atividades, papéis dos envolvidos, sistemas de informação e conceitos relacionados à colaboração entre as empresas envolvidas no projeto.

Palavras-chave: Indústrias 4.0, Colaboração, Modelagem de Empresas, For Enterprise Modeling.

4.1 Introdução

A fusão das atuais tecnologias de manufatura com as tecnologias de informação de nova geração está orientando uma mudança de paradigma na manufatura, conhecida como a quarta

revolução industrial (ZHOU et al., 2019). A conexão entre as tecnologias e a inteligência artificial deu origem a um novo paradigma empresarial, conhecido como Indústria 4.0.

A essência da Indústria 4.0 é o uso de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para conectar departamentos empresariais, fábricas, empresas do grupo e empresas externas relacionadas à manufatura e suporte, como clientes, fornecedores de matérias-primas, empresas de logística e fornecedores de energia (MOHAMED; AL-JAROODI; LAZAROVA-MOLNAR, 2019). Segundo Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018), ao equipar a produção com sensores, atuadores e sistemas autônomos, a Indústria 4.0 ajudará a tornar as fábricas mais inteligentes, flexíveis e dinâmicas. A Indústria 4.0 pode ajudar as empresas a atender adequadamente a crescente volatilidade dos mercados, as crescentes demandas e complexidade de produtos e serviços, bem como a redução dos ciclos de inovação (BIRKEL al., 2019).

Segundo Rajput e Singh (2019), as principais tecnologias da Indústria 4.0 são a internet industrial das coisas, computação em nuvem, *big data*, simulação, realidade aumentada, impressão 3D, integração horizontal e vertical de sistemas, robótica e segurança cibernética. Após a introdução da Indústria 4.0, o trabalho manual será substituído por máquinas de alto desempenho com controlador lógico programável ou robótica com a precisão de 99,9996% (SAI, 2018). Segundo Turcu e Turcu (2018), a McKinsey prevê que até 2025, entre 65 a 90% das fábricas instaladas em países desenvolvidos adotarão a internet industrial das coisas, ao passo que nas fábricas localizadas em países em desenvolvimento este percentual estará entre 50 e 70%. Esta adoção pode acrescentar 11,1 trilhões de dólares à economia global (MOSTAFA; HAMDY; ALAWADY, 2019).

Após reconhecer o grande potencial transformador, outros países seguiram com sua própria versão da Indústria 4.0, e, entre eles, podem ser citados os Estados Unidos, China, Japão, Reino Unido, Suécia, Itália, Brasil, Bélgica, Holanda, Singapura, Malásia, França, Índia, Espanha, Rússia, Áustria, República Checa, Cazaquistão e Coreia do Sul (CHONG et al., 2018; DALENOGARE et al., 2018; GONZÁLEZ et al., 2019; HAMADA, 2019; KHEYFETS; CHERNOVA, 2019; MOON; SEOL, 2017; MÜLLER, 2019; OKORIE et al., 2018; SALENTO, 2018; STRANDHAGEN et al., 2017). Nos Estados Unidos, foram desenvolvidas as estratégias “Smart Manufacturing”, “Industrial Internet Consortium”, “Industry Connected 4.0”, “National Network for Manufacturing Innovation”; na China a “Made in China 2025” e “Internet Plus”; na França, a “La Nouvelle France Industrielle” e “Industries du Futur”; no Reino Unido, a “High Value Manufacturing Catapult”; na Suécia, a “Produktion 2030” e “Made in Sweden 2030”; na Itália, a “Fabbrica Intelligente”; em Singapura, a “Smart Nation Program”; no Japão, a “Industrial Value Chain Initiative”, “Japanese Robot Revolution Initiative”, “Super

Smart Society” e “Society 5.0”; na Coreia do Sul, a “Manufacturing Innovation 3.0”; na Bélgica e Holanda, a “Made Different”; na Espanha, a “Industria Conectada 4.0”; na Áustria, a “Produktion der Zukunft”; na Itália, a “Fabbrica del Futuro”, “Piano Nazionale Industria 4.0” e “Cluster Fabbrica Intelligente”; na República Checa, a “Prumysl 4.0”; na Rússia, “Make in Russia 2030”; na Índia, a “Make in India”; na Malásia, a “National Industry 4.0 Policy”; no Cazaquistão, a “National Technology Initiative”; e no Brasil, a “Rumo à Indústria 4.0”.

A implantação efetiva das tecnologias da Indústria 4.0 ainda está em seu estágio inicial (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019), representa um importante objeto de pesquisa (FRITZSCHE; NIEHOFF; BEIER, 2018), e pesquisadores devem explorar os aspectos de gerenciamento e as melhores práticas de apoio às empresas que implementam projetos da Indústria 4.0 (HORVÁTH; SZABÓ, 2019). Além disso, diversos aspectos devem ser discutidos para a implantação bem-sucedida e oportuna das soluções relacionadas à Indústria 4.0 (KAMBLE; GUNASEKARAN; SHARMA, 2018).

Segundo Moghaddam et al. (2018), a colaboração entre fornecedores e consumidores das tecnologias da Indústria 4.0 é um dos requisitos mais importantes para a consolidação do paradigma, pois ela promove a configuração dos recursos compartilhados, a interação social, a colaboração comercial e o gerenciamento geral da produção a fim de realizar as tarefas do ciclo de vida do produto com eficiência e flexibilidade. A colaboração com outras empresas, como clientes, fornecedores, desenvolvedores e fornecedores de sistemas de informação e consultores de sistemas para se adaptar à Indústria 4.0, também é eficaz para que as empresas adquiram conhecimento e compreensão apropriados (HAMADA, 2019).

A colaboração é o aspecto que deve ser mais enfatizado durante o projeto de implantação das soluções relacionadas à Indústria 4.0. Segundo Pereira et al. (2018), a Indústria 4.0 pode ser vista a partir da ótica das redes colaborativas, pois conecta sistemas de manufatura, produtos, cadeias de valor etc., e é necessário entender as interações entre as empresas para alcançar a eficácia, agilidade e resiliência dos futuros sistemas industriais. No contexto de um sistema complexo como uma rede colaborativa, a *enterprise modeling* (modelagem de empresas) é fundamental para compreender, gerenciar, simular ou prever o comportamento da rede (CAMARINHA-MATOS; AFSARMANESH, 2007) e fornecer soluções adaptadas e estruturadas para as empresas (DOSSOU; NACHIDI, 2017). Assim, este artigo busca modelar o processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 por meio do método de modelagem de empresas For Enterprise Modeling (4EM), apresentando uma representação da situação atual (*As-Is*) do projeto.

4.2 Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio de opinião de especialistas e da técnica de modelagem de empresas 4EM⁴. É uma pesquisa de abordagem qualitativa, fornecendo maior proximidade entre os pesquisadores e os problemas estudados; bem como possui caráter exploratório, fornecendo correlações entre os objetos de estudo para colaborar com futuras pesquisas.

Liao et al. (2017) afirmam que no âmbito da Indústria 4.0, uma solução para adquirir conhecimento a partir da perspectiva de colaboração é por meio do estudo de questões relacionadas a “quem” está trabalhando na Indústria 4.0, “quando” e “onde”. Assim, justifica-se o uso da abordagem qualitativa e da modelagem de empresas para representação dos aspectos do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0, pois ambos são adequados para responder questionamentos desta natureza (PÁDUA, 2012; YIN, 2010).

Neste trabalho, foram entrevistados profissionais de 5 universidades brasileiras, 3 empresas implantadoras e 1 empresa adquirente de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 e 1 empresa de treinamento e consultoria para auxílio à transformação digital. O Quadro 4 apresenta o perfil dos profissionais entrevistados em cada organização.

Quadro 4 - Descrição dos especialistas entrevistados

Organização	Localização	Profissional(is) entrevistado(s)
Universidade A	Florianópolis	Professor Doutor. Ministra aulas e desenvolve pesquisas na área de Engenharia de Produção.
Universidade B	Porto Alegre	Professor Doutor. Ministra aulas e desenvolve pesquisas na área de Administração.
Universidade C	Porto Alegre	Professor Doutor. Ministra aulas e desenvolve pesquisas nas áreas de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação.
Universidade D	Santa Cruz do Sul	Professor Doutor. Ministra aulas e desenvolve pesquisas na área de Engenharia de Produção.
Universidade E	Limeira	Professor Doutor. Ministra aulas e desenvolve pesquisas na área de Engenharia de Produção.

⁴ Uma descrição minuciosa dos métodos de modelagem de empresas e a caracterização e justificativa da escolha do método 4EM pode ser vista no artigo intitulado como “Modelagem de empresas do processo de adaptação empresarial ao paradigma das Indústrias 4.0: recorte analítico na visão de uma empresa fornecedora de tecnologias”, apresentado na terceira seção desta tese.

Empresa implantadora A	São Paulo	Engenheiro Eletricista
Empresa implantadora B	São Paulo	Gerente de Negócios
Empresa implantadora C	São Paulo	Gerente de Marketing
Empresa adquirente de soluções	São Bernardo do Campo	Gerente Geral Engenheiro Analista de Melhoria Contínua
Empresa de treinamento e consultoria	Campinas	Consultor

Justifica-se o estudo em organizações de ramos tão diversos por que segundo Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018) estudos sobre a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 em diferentes ambientes da indústria para aprimorar o entendimento desses fatores são necessários. A escolha de profissionais que trabalham em organizações brasileiras baseia-se em Dalenogare et al. (2018), os quais afirmam que poucos estudos sobre iniciativas da Indústria 4.0 foram realizados no Brasil. E a ênfase em empresas implantadoras de soluções visou seguir as orientações de Müller e Däschle (2018), os quais afirmam que a situação das empresas implantadoras, prestadoras de serviços e de TI é pouco retratada no contexto da Indústria 4.0.

Para a coleta de dados nos estudos de foram realizadas entrevistas semiestruturadas por um roteiro de entrevista. O roteiro (apresentado no Apêndice C) sobre tópicos relacionados à modelagem de empresas do processo de colaboração entre empresas para implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 foi desenvolvido e fornecido aos profissionais entrevistados antes da conversa. A entrevista foi gravada e a gravação foi transcrita, a fim de fornecer uma interpretação precisa do que foi dito.

Com relação à empresa adquirente de soluções relacionadas à Indústria 4.0, é importante ressaltar que segundo os profissionais entrevistados, embora a empresa tenha implantado robôs, sistemas de armazenamento, internet das coisas, comunicação de máquina a máquina, sistemas MES e virtualização (digitalização dos dados e controle remoto das informações), ela ainda está buscando alcançar o paradigma das Indústrias 4.0.

4.3 Modelagem de empresas do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0: a análise do estado atual (As-Is)

Nurcan e Rolland (2003) desenvolveram uma adaptação do método 4EM, denominada de *Enterprise Knowledge Development - Change Management Method* (EKD-CMM). O EKD-CMM fornece uma abordagem sistemática para desenvolver e documentar o conhecimento empresarial e ajudar as organizações a desenvolver modelos para implementar mudanças, englobando questões relacionadas ao funcionamento atual da organização, quais as necessidades de mudança e quais as razões para tais mudanças, quais alternativas podem ser

previstas com o propósito de atingirem essas necessidades e quais critérios validam essas alternativas (NURCAN; ROLLAND, 2003). O EKD-CMM é dividido em três modelos, o *As-Is*, o *Need for Change* e o *To-Be*. O modelo *As-Is* apresenta o retrato atual da organização; o *Need for Change* define a modificação e apresenta um modelo que visa identificar as mudanças necessárias na organização; e, por fim, a implantação das mudanças apresenta um modelo que visa retratar a situação futura da empresa após as mudanças terem sido implantadas, sendo denominado de modelo *To-Be* (NURCAN; ROLLAND, 2003).

Nesta pesquisa, foi apresentado apenas o modelo *As-Is*, pois a Indústria 4.0 é um paradigma que ainda se encontra na fase inicial de adoção, o que dificulta a absorção de dados e informações que possam gerar um modelo *To-Be*.

Segundo as informações obtidas nas entrevistas, a colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 ocorre em todos os níveis do projeto, pois as empresas adquirentes das soluções apresentam suas necessidades, e as empresas desenvolvedoras e implantadoras analisam conjuntamente as possíveis melhorias, definindo a melhor solução (a mais viável em termos de custo e a mais rápida em termos de implantação), representada por serviços, *softwares*, *hardwares* ou tecnologias.

A colaboração entre as empresas envolvidas no projeto ocorre na pré-venda, negociação comercial, implantação e pós-venda da solução, visando garantir a manutenção e bom uso das soluções. Os entrevistados afirmam que a capacitação dos funcionários da empresa adquirente é um dos aspectos mais importantes no projeto, pois como eles são o ativo mais valioso da empresa, é necessário que eles extraiam o melhor resultado possível da solução adquirida, visando auxiliar o processo de tomada de decisão.

Com base nas informações coletadas nas entrevistas, foram desenvolvidos os Modelos de Objetivos, Regras do Negócio, Processos, Atores e Recursos, Componentes e Requisitos Técnicos, e Conceitos, os quais são descritos a seguir.

4.3.1 Modelo de Objetivos

A Figura 10 apresenta o Modelo de Objetivos do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0. O principal objetivo almejado por uma empresa que visa adequar-se a este paradigma é ser mais competitiva (Objetivo 1), em virtude da grande competição e desenvolvimento tecnológico imposto pelo mercado. O alcance deste objetivo possibilita o aumento do *market share* (Oportunidade 6) e aumento dos lucros (Oportunidade 7). Porém, para que este objetivo seja alcançado, é

necessário discutir e enfrentar algumas restrições que o impedem, tais como conhecimento limitado da transformação digital necessária para a empresa alcançar a filosofia da Indústria 4.0 (Restrição 1), limitação de recursos (Restrição 2) por parte da empresa, resistência cultural dos funcionários (Restrição 3) e baixa qualificação dos funcionários (Restrição 4).

O alcance da meta de ser mais eficiente (Objetivo 2) possibilita que a empresa diminua o tempo de entrega de produtos e serviços (Oportunidade 8), porém, para tal alcance, é necessário enfrentar a resistência cultural dos funcionários (Restrição 3) e baixa qualificação dos funcionários (Restrição 4).

O alcance da meta de ser mais flexível (Objetivo 3) possibilita o atendimento à demanda por produtos e serviços personalizados (Oportunidade 1) e diminuição do tempo de entrega de produtos e serviços (Oportunidade 8).

Para ser interoperável (Objetivo 4) é necessário que a empresa esteja disposta a fazer investimentos para melhorar sua estrutura física limitada (Restrição 5), o que possibilita o compartilhamento de recursos e competências (Oportunidade 2) e compartilhamento de informações e conhecimento (Oportunidade 3).

O alcance da meta de colaborar em tempo real com *stakeholders* (Objetivo 5) possibilita uma boa rastreabilidade dos processos produtivos (Oportunidade 4), sustentabilidade nas operações produtivas (Oportunidade 5) e diminuição do tempo de entrega de produtos e serviços (Oportunidade 8).

4.3.2 Modelo de Regras do Negócio

A Figura 11 apresenta o Modelo de Regras do Negócio. Para alcançar o objetivo de ser mais competitiva (Objetivo 1), visando o desenvolvimento conjunto de produtos e serviços, é necessário que a empresa tenha um bom canal de comunicação com os clientes (Regra 1), seleção de parceiros qualificados (Regra 2), identificação das tendências do mercado (Regra 9), qualificação constante dos colaboradores (Regra 6), acompanhamento constante dos dados econômicos do mercado (Regra 7) e *benchmarking* com concorrentes (Regra 8).

A fim de ser mais eficiente (Objetivo 2), a empresa necessita de disponibilidade dos recursos financeiros necessários (Regra 4), qualificação de sua estrutura fabril (Regra 10) e bom conhecimento do *trade-off* (Regra 13). Os profissionais entrevistados afirmam que no âmbito das Indústrias 4.0, o processo de implantar por implantar não adianta, e para evitar isso, deve-se ter em mente o que a empresa adquirente da solução necessita (se é a redução de custos, redução do estoque, diminuição do tempo de entrega ao cliente, maior produção) e para cada necessidade elencar possíveis iniciativas para resolução dos problemas. Adicionalmente, a empresa deve ter em mente que o retorno financeiro da solução adquirida pode demorar algum tempo, por isso é necessário ter as metas bem-definidas, a fim de evitar um possível arrependimento e abandono da solução.

Para ser flexível (Objetivo 3) é necessário o uso de sistemas flexíveis (Regra 3), estabelecimento de padrões para as operações industriais (Regra 5) e o desenvolvimento de produtos e serviços interconectados (Regra 18). Produtos e serviços interconectados permitem que a empresa aprimore constantemente sua atuação no mercado, ao receber *feedbacks* constantes dos seus clientes.

Para ser interoperável (Objetivo 4) é necessário o mapeamento constante dos processos e fluxos internos (Regra 11), interoperabilidade dos sistemas de TI das empresas (Regra 16) e investimento na transformação digital da empresa (Regra 18). Os entrevistados afirmam que a implantação de soluções relacionadas à Indústria 4.0 requer pessoal especializado, computadores e máquinas de última geração, bem como a mudança na cultura organizacional da empresa.

Para colaborar em tempo real com *stakeholders* (Objetivo 5) é necessário que a empresa tenha um bom canal de comunicação com os clientes (Regra 1), seleção de parceiros qualificados (Regra 2), bom poder de negociação (Regra 12), trabalho em equipe (Regra 14), confiança mútua (Regra 15) e interoperabilidade dos sistemas de TI das empresas (Regra 16).

Figura 11 - Modelo de Regras do Negócio

4.3.3 Modelo de Processos

A Figura 12 apresenta o Modelo de Processos da colaboração entre empresas em projetos de implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0. De modo geral, os processos transformam determinadas informações e/ou materiais (*input*) em outras informações e/ou materiais (*output*).

Com o devido entendimento do que representa a Indústria 4.0 (InfoSet 1), seus benefícios e a importância da transformação digital necessária para alcançá-la por parte da direção, deve-se avaliar as necessidades da empresa adquirente das soluções relacionadas (Processo 1). Tal avaliação resulta no diagnóstico da empresa (InfoSet 2). Com tal diagnóstico, a direção da empresa deve reunir os demais funcionários da alta administração (Processo 2) e esta reunião resulta na definição de quais as áreas da empresa a serem transformadas (InfoSet 3). Com tal definição, deve-se reunir o pessoal da área técnica (Processo 3), a fim de realizar o mapeamento dos processos produtivos (InfoSet 4). Com tal mapeamento, o pessoal da área técnica analisa as soluções disponíveis no mercado (Processo 4), o que resulta na cotação das soluções (InfoSet 5).

Após definir a melhor estratégia para implantar as soluções (Processo 5) e com o esboço do projeto (InfoSet 6), a empresa adquirente deve contratar uma empresa implantadora de soluções (Processo 6).

De acordo com os profissionais entrevistados, para a execução das atividades do projeto, uma empresa adquirente pode seguir duas estratégias, ambas envolvendo uma empresa implantadora de soluções da Indústria 4.0, e, em certos casos, empresa de treinamento e consultoria para uso das soluções: qualificar seus próprios funcionários da área técnica (Processo 7) para que eles mesmos desenvolvam a(s) solução(ões) (Processo 8), ou comprar solução(ões) da empresa implantadora (Processo 9).

Com a aprovação do início do projeto (InfoSet 9), deve-se analisar o nível de automação da empresa adquirente (Processo 10). O diagnóstico da situação atual (InfoSet 10) orienta a empresa a atualizar as máquinas e equipamentos defasados (Processo 11), ou adquirir máquinas e equipamentos conectáveis (Processo 12). Em ambas situações, com estes ativos adaptados à transformação digital (InfoSet 11), deve-se integrar os sistemas de informação das empresas parceiras (Processo 13), o que é essencial para a colaboração em tempo real. Esta integração resulta no plano de gestão da segurança (InfoSet 12), o qual contempla questões como restrição de acesso aos sistemas, mecanismos para proteção da propriedade intelectual de produtos e serviços etc.

Após avaliar os indicadores de eficiência (Processo 14) definidos no plano de transformação digital da empresa e com o diagnóstico da avaliação (InfoSet 13), a empresa deve mensurar os resultados do projeto (Processo 15). Caso os resultados não sejam satisfatórios, a empresa deve rever as atividades precedentes, a começar pela análise do nível de automação (Processo 10). Caso os resultados sejam satisfatórios, a empresa deve treinar os usuários finais da(s) solução(ões) (Processo 16), e com a documentação do projeto (InfoSet 14), deve ser estabelecida a interface com os clientes (Processo 17), para a mesma receber *feedbacks* e desenvolver seus produtos e serviços colaborativamente. Com tal interface configurada (InfoSet 15), a empresa e seus parceiros da rede de colaboração formada para a implantação e uso da solução devem monitorar continuamente os resultados da transformação digital (Processo 18).

4.3.4 Modelo de Atores e Recursos

A Figura 13 apresenta uma visão geral do Modelo de Atores e Recursos do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0. Para evitar a poluição visual da representação do modelo, na Figura 13 são mostrados apenas os atores de cada empresa que participa no processo. Os processos, papéis e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa desenvolvedora de soluções, implantadora de soluções, de treinamento e consultoria, adquirente de soluções e fornecedora da empresa adquirente são apresentados nas Figuras 14, 15, 16, 17 e 18, respectivamente.

Figura 13 - Visão geral do Modelo de Atores e Recursos

A Figura 14 apresenta os papéis exercidos e recursos e processos de responsabilidade de cada ator da empresa desenvolvedora de soluções da Indústria 4.0. O Representante Comercial (Unidade Individual 1), Engenheiro (Unidade Individual 2) e Profissionais da área produtiva (Unidade Individual 3) da empresa desenvolvedora de soluções da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 1) participam do projeto de implantação, executando as atividades necessárias de forma colaborativa com os profissionais da empresa implantadora de soluções da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2).

O Representante Comercial (Unidade Individual 1) define a cotação da solução (Recurso 2) e exerce o papel de vendedor da solução (Papel 1). O Engenheiro (Unidade Individual 2) desenvolve a solução (Recurso 1), é responsável pelo suporte técnico (Recurso 3) e auxilia na atualização das máquinas e equipamentos obsoletos (Processo 11) da empresa adquirente das soluções Unidade Organizacional 4). Os Profissionais da área produtiva (Unidade Individual 3) auxiliam o Engenheiro (Unidade Individual 2) no desenvolvimento da solução (Recurso 1).

Figura 14 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos papéis, recursos e processos de responsabilidade de cada ator da empresa desenvolvedora de soluções

A Figura 15 apresenta os processos e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa implantadora de soluções da Indústria 4.0. O Representante Comercial (Unidade Individual 4) da empresa implantadora de soluções da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2) aprova a cotação da solução (Recurso 2) e, junto com o Engenheiro (Unidade Individual 5) e Profissionais da área administrativa (Unidade Individual 6), auxilia na integração dos sistemas de informação das empresas participantes da rede colaborativa (Processo 13).

O Engenheiro (Unidade Individual 5) é responsável pelo suporte técnico (Recurso 3), auxilia no desenvolvimento das soluções (Processo 8) e executa os processos de qualificação dos funcionários da empresa adquirente (Processo 7), análise do nível de automação da empresa (Processo 10), atualização das máquinas e equipamentos obsoletos (Processo 11), avaliação dos indicadores de eficiência (Processo 14), mensuração dos resultados do projeto (Processo 15), treinamento dos usuários finais da solução (Processo 16) e estabelecimento da interface com os clientes (Processo 17).

Figura 15 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos processos, e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa implantadora de soluções

A Figura 16 apresenta os processos e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa de treinamento e consultoria para as soluções da Indústria 4.0. O Consultor (Unidade Individual 7) da empresa de treinamento e consultoria (Unidade Organizacional 3), quando contratado para participar do projeto de transformação digital de uma empresa, executa o treinamento dos usuários finais da solução (Processo 16), e auxilia na avaliação das necessidades da empresa adquirente (Processo 1) e mensuração dos resultados do projeto (Processo 15).

Figura 16 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos processos de responsabilidade de cada ator da empresa de treinamento e consultoria

A Figura 17 apresenta os processos, papéis e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa adquirente de soluções da Indústria 4.0. O Representante Comercial (Unidade Individual 11) da empresa adquirente de soluções da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 4) aprova a cotação da solução (Recurso 2) e executa os processos de análise das soluções disponíveis no mercado (Processo 4) e contratação da empresa implantadora de soluções (Processo 6). O Comprador (Unidade Individual 8) é responsável por comprar a(s) solução(ões) (Processo 9). O Diretor (Unidade Individual 13) executa a avaliação das necessidades da empresa adquirente (Processo 1) e exerce o papel de líder do projeto (Papel 2).

O Engenheiro (Unidade Individual 9) orienta o desenvolvimento da solução (Recurso 1), para customizá-la de acordo com as necessidades da empresa. Este profissional executa os processos de análise das soluções disponíveis no mercado (Processo 4), análise do nível de automação da empresa (Processo 10), avaliação dos indicadores de eficiência (Processo 14) e mensuração dos resultados do projeto (Processo 15). Este profissional também participa do treinamento dos usuários dos usuários finais da solução (Processo 16) e exerce o papel de usuário final da solução (Papel 3).

O Analista de TI (Unidade Individual 10) auxilia no desenvolvimento da solução (Recurso 1), executa os processos de análise do nível de automação da empresa (Processo 10), integração dos sistemas de informação das empresas (Processo 13) e estabelecimento da interface com os clientes (Processo 17). Este profissional também participa do treinamento dos usuários dos usuários finais da solução (Processo 16) e exerce o papel de usuário final da solução (Papel 3).

Figura 17 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos processos, papéis e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa adquirente de soluções

A Figura 18 apresenta os papéis e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa fornecedora de bens e serviços à empresa adquirente de soluções da Indústria 4.0. O Representante Comercial (Unidade Individual 16) da empresa fornecedora de bens e serviços (Unidade Organizacional 5) à empresa adquirente da solução executa a integração dos sistemas de informação das empresas (Processo 13). O Engenheiro (Unidade Individual 17) e o Analista de TI (Unidade Individual 14) executam a integração dos sistemas de informação das empresas (Processo 13) e, junto com os Profissionais da área produtiva (Unidade Individual 15), são os usuários finais do sistema (Papel 4).

Figura 18 - Modelo de Atores e Recursos: apresentação dos papéis e recursos de responsabilidade de cada ator da empresa fornecedora de bens e serviços à empresa adquirente de soluções

4.3.5 Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos

A Figura 19 apresenta a visão geral do Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos para auxílio ao processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções

relacionadas às Indústrias 4.0. Tal sistema de informação deve considerar requisitos funcionais (que tangem a sua utilização), bem como não funcionais (que tange as medidas de segurança, usabilidade e acessibilidade etc.).

Com base nas informações disponibilizadas, o sistema de informação para apoio ao projeto de implantação da(s) solução(ões) da Indústria 4.0 tem como objetivos: permitir o gerenciamento das equipes dos projetos (Objetivo SI 1), disponibilizar acesso remoto (Objetivo SI 2) aos profissionais das empresas cuja participação tem maior influência para o sucesso do projeto e registrar lições aprendidas nos projetos (Objetivo SI 3). Este sistema deve ser acessado pelo Engenheiro (Unidade Individual 2) da empresa desenvolvedora de soluções da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 1), pelo Engenheiro (Unidade Individual 5) da empresa implantadora de soluções da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 2), pelo Consultor (Unidade Individual 7) da empresa de treinamento e consultoria (Unidade Organizacional 3), e pelo Engenheiro (Unidade Individual 9) e Analista de TI (Unidade Individual 10) da empresa adquirente de soluções da Indústria 4.0 (Unidade Organizacional 4).

Figura 19 - Visão geral do Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos

A Figura 20 apresenta o objetivo “permitir o gerenciamento das equipes de projetos (Objetivo SI 1)”, detalhando seus componentes e requisitos. O sistema para gerenciamento das equipes de projetos (Objetivo SI 1) deve possuir robustez (Requisito Não Funcional 1); proporcionar interface amigável ao usuário (Requisito Não Funcional 2); fornecer segurança (Requisito Não Funcional 3), de modo a restringir o acesso apenas aos envolvidos nos processos; e ter baixo custo (Requisito Não Funcional 4).

Este sistema tem como requisitos funcionais: informar quem realizou determinada atividade (Requisito Funcional 1) e quando determinada atividade foi realizada (Requisito Funcional 2).

Com estes requisitos funcionais e não funcionais, este sistema apoia a seleção de parceiros qualificados (Regra 2), qualificação constante dos colaboradores (Regra 6), trabalho em equipe (Regra 14), confiança mútua (Regra 15), interoperabilidade dos sistemas de TI das empresas (Regra 16) e o monitoramento contínuo dos resultados da transformação digital da empresa (Processo 18).

Figura 20 - Submodelo do Objetivo SI 1

A Figura 21 apresenta o objetivo “disponibilizar acesso remoto (Objetivo SI 2)”, detalhando seus componentes e requisitos. Este sistema deve possuir robustez (Requisito Não Funcional 1); proporcionar interface amigável ao usuário (Requisito Não Funcional 2); fornecer segurança (Requisito Não Funcional 3), de modo a restringir o acesso apenas aos envolvidos nos processos; e ter baixo custo (Requisito Não Funcional 4).

Este sistema tem como requisitos funcionais: permitir o envio e recebimento de arquivos (Requisito Funcional 3) e possibilitar a realização virtual de atividades (Requisito Funcional 4). Com estes requisitos funcionais e não funcionais, este sistema possibilita redução de custos (Oportunidade 1), diminuição do tempo de resposta (Oportunidade 2) e auxílio à assistência técnica pós-venda (Oportunidade 3). Tal sistema também apoia o monitoramento constante dos processos e fluxos internos (Regra 11), trabalho em equipe (Regra 14) e monitoramento contínuo dos resultados da transformação digital da empresa (Processo 18).

Figura 21 - Submodelo do Objetivo SI 2

A Figura 22 apresenta o objetivo “registrar lições aprendidas nos projetos (Objetivo SI 3)”, detalhando seus componentes e requisitos. Este sistema deve possuir robustez (Requisito Não Funcional 1); proporcionar interface amigável ao usuário (Requisito Não Funcional 2); fornecer segurança (Requisito Não Funcional 3), de modo a restringir o acesso apenas aos envolvidos nos processos; e ter baixo custo (Requisito Não Funcional 4).

Este sistema tem como requisitos funcionais: armazenar informações de clientes e parceiros (Requisito Funcional 5), agilizar a identificação de informações (Requisito Funcional 6), armazenar o histórico de cada projeto (Requisito Funcional 7) e permitir a avaliação do desempenho de determinado projeto (Requisito Funcional 8).

Com estes requisitos funcionais e não funcionais, este sistema apoia a seleção de parceiros qualificados (Regra 2), qualificação constante dos colaboradores (Regra 6), trabalho em equipe (Regra 14), confiança mútua (Regra 15), interoperabilidade dos sistemas de TI das empresas (Regra 16) e o monitoramento contínuo dos resultados da transformação digital da empresa (Processo 18).

Figura 22 - Submodelo do Objetivo SI 3

4.3.6 Modelo de Conceitos

A Figura 23 apresenta o Modelo de Conceitos do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0.

A Indústria 4.0 (Conceito 1), possui diversos princípios associados, dentre os quais merecem destaque: agilidade (Princípio 1), transparência (Princípio 2), empoderamento (Princípio 3), compartilhamento (Princípio 4), colaboração (Princípio 5), resiliência (Princípio 6), inovação (Princípio 7), auto-organização (Princípio 8), interoperabilidade (Princípio 9), virtualização (Princípio 10), descentralização (Princípio 11), capacidade em tempo real (Princípio 12), orientação ao serviço (Princípio 13), modularidade (Princípio 14), segurança da informação (Princípio 15) e sustentabilidade (Princípio 16).

A Indústria 4.0 (Conceito 1) pode ser considerada uma empresa digital (Conceito 2), pois busca enfrentar os novos desafios que o mercado competitivo impõe, e para isso, a referida organização necessita de gestão do conhecimento (Conceito 4), coleta de dados internos (Conceito 6) e análise de mercado (Conceito 7). Em sua dinâmica, a Indústria 4.0 (Conceito 1) envolve a manufatura inteligente (Conceito 3), racionalização de recursos (Conceito 5), customização em massa (Conceito 8) e responsabilidade social corporativa (Conceito 9).

A Indústria 4.0 (Conceito 1) envolve soluções como impressão 3D (Ferramenta 1), realidade aumentada (Ferramenta 2), *cybersecurity* (Ferramenta 3), sistemas ciber-físicos (Ferramenta 4), internet das coisas (Ferramenta 5), internet de serviços (Ferramenta 6), robótica (Ferramenta 7), *blockchain* (Ferramenta 8), computação em nuvem (Ferramenta 9) e *big data* (Ferramenta 10).

Figura 23 - Modelo de Conceitos

4.4 Discussão dos resultados: a contribuição do modelo *As-Is*

O método 4EM foi escolhido para a modelagem de empresas do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 pelo fato de ele propiciar uma forma sistemática de analisar e documentar os componentes de uma empresa, sendo útil para a compreensão de projetos.

O Modelo de Objetivos apresentado facilitou a compreensão das estratégias, detalhamento das metas almejadas por uma organização e oportunidades advindas com a implantação da solução, bem como a visualização das restrições que impedem o alcance dos objetivos. Assim, o Modelo de Objetivos apresentado pode vir a ser um referencial para orientação de futuras aquisições. É possível observar que a resistência cultural dos funcionários representa o principal empecilho para a aquisição e uso adequado das soluções, pois como a Indústria 4.0 implica em sérias mudanças no ambiente de trabalho, muitos funcionários tendem a evitar sua inserção na filosofia. Muitas questões acarretam tal resistência, tais como medo de perder o emprego, medo de acidentes com robôs, receio à tomada de decisão orientada por máquinas, desconforto causado pela virtualização do chão de fábrica etc. Além disso, os profissionais da empresa adquirente que foram entrevistados afirmam que embora muitos funcionários estejam interessados na inserção, poucos estão empenhados em realmente entender o que a Indústria 4.0 é.

As diretrizes do Modelo de Regras do Negócio além de possuírem estreita relação com os objetivos almejados, sinalizaram também as principais considerações a serem feitas durante a realização das atividades do projeto. Segundo os profissionais entrevistados, junto com o investimento na gestão da mudança organizacional e treinamento dos funcionários, a definição clara das metas almejadas pela empresa adquirente da(s) solução(ões) é imprescindível para o sucesso da implantação do projeto. É importante que os funcionários compreendam que a médio e longo prazos a implantação das soluções e mudança da estrutura da empresa traz benefícios tais como diminuição de paradas em processos, eliminação de danos e paradas em máquinas e equipamentos, redução de acidentes, dentre outros. Segundo o profissional da empresa de treinamento e consultoria, uma empresa adquirente deve investir em uma solução se isso realmente for atender um objetivo do seu planejamento estratégico, e segundo ele, a maior parte das indústrias que implementam soluções não consideram os objetivos do seu planejamento estratégico, o que ocasiona sérios problemas.

O Modelo de Processos desenvolvido mapeou os fluxos físico (de profissionais e materiais) e lógico (de informações) realizados durante o projeto de implantação. Segundo o

profissional entrevistado, assim como a colaboração, o *benchmarking* é bastante importante no âmbito da Indústria 4.0, pois antes de implantarem as soluções relacionadas ao paradigma, algumas empresas visitam outras organizações que já desenvolveram projetos semelhantes, a fim de avaliar os resultados obtidos. A colaboração possibilita a troca de informações e conhecimento para o uso, manutenção e melhoria das soluções, bem como a identificação de pontos fortes e fracos de cada profissional envolvido, o que ajuda a orientar o processo de treinamento.

O Modelo de Atores e Recursos permitiu visualizar o vínculo existente entre as organizações, apresentou de modo geral os papéis que profissionais envolvidos no projeto exercem, e mostrou os processos e recursos pelos quais eles são responsáveis. É importante ressaltar que este modelo é bastante complexo e fica difícil padronizar as responsabilidades de cada profissional. Segundo os profissionais entrevistados, o tipo de profissional envolvido no projeto varia muito de acordo com a solução que uma empresa adquire. Projetos de aquisição de tecnologias voltadas para a área de gestão de processos produtivos envolvem Engenheiro de Processos e de Qualidade; projetos voltados para a área de segurança da informação envolvem o pessoal da TI ou um diretor industrial; ao passo que projetos de melhoria de eficiência ou aumento de qualidade envolvem Engenheiro de Produção e Diretor Industrial. Por isso, é necessário que empresas adquirentes criem uma equipe multidisciplinar, competente, integrada e que entenda bem todas as necessidades do projeto. Segundo os entrevistados, a participação ativa dos profissionais da área comercial no desenvolvimento das soluções tem se tornado cada vez mais comum.

Com relação ao Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos e ao(s) sistema(s) de informação de apoio para o projeto, é importante informar que os profissionais entrevistados ressaltaram que aplicativos gratuitos podem auxiliar plena e satisfatoriamente a realização das atividades. Para auxílio em emergências ou urgência o Whatsapp é um excelente meio de comunicação. Para a comunicação formal ou transferência de documentos jurídicos, serviços gratuitos de webmail são suficientes. Já em situações que necessitem de transferência, armazenamento ou sincronização de arquivos de grande espaço, bem como exijam a instalação ou configuração virtuais de tecnologias, o TeamViewer, Skype, Skype for Business, Zoom, Go To Meeting são plenamente úteis. De acordo com Yin e Qin (2019), em projetos de implantação de soluções relacionadas à Indústria 4.0, o uso de e-mails, pastas compartilhadas, Google Docs e sistemas de videoconferência (como Skype e Zoom) está tornando a comunicação e a colaboração da equipe mais eficientes, pois estas plataformas de colaboração baseadas na *web* apoiam não somente as atividades de projeto e desenvolvimento de soluções, mas também

descentralizam a tomada de decisões na equipe. Estas plataformas de colaboração de projeto baseadas fornecem funções que apoiam a comunicação, permitem revisar e fazer alterações imediatas no projeto e visualizar os impactos prováveis das mudanças.

Porém, com relação aos sistemas de informação, a resistência por parte de algumas empresas adquirentes de soluções pode acabar dificultando o processo, pois alguns profissionais ainda têm receio de fornecer acesso remoto aos seus sistemas. Isso acaba encarecendo o projeto, já que boa parte dos serviços executados por empresas implantadoras de soluções pode ser feita remotamente. A importância da colaboração entre as empresas é bastante notória, pois é vital para aumentar a visibilidade da informação em vários estágios do ciclo de vida do produto, serviço ou projeto (GHADIMI et al., 2019), porém, é importante selecionar parceiros confiáveis para executar as atividades do projeto e definir bem as políticas de controle de acesso, para evitar a divulgação inadvertida de informações confidenciais compartilhadas pelos parceiros (PREUVENEERS; JOOSEN; ILIE-ZUDOR, 2018).

O Modelo de Conceitos apresentou os mais importantes princípios (agilidade, transparência, empoderamento, compartilhamento, colaboração, resiliência, inovação, auto-organização, orientação ao serviço, modularidade, segurança da informação, sustentabilidade, interoperabilidade, virtualização, descentralização e capacidade em tempo real), termos relacionados (empresa digital, manufatura inteligente, customização em massa etc.) e soluções relacionadas à Indústria 4.0 (internet das coisas, internet de serviços, sistemas ciber-físicos, impressão 3D, robótica, *big data*, *blockchain*, *cybersecurity*, computação em nuvem, realidade aumentada etc.). Buer, Strandhagen e Chan (2018), afirmam que a falta de clareza com relação aos conceitos atrelados às Indústrias 4.0 dificulta a identificação e implementação de soluções nas empresas. Portanto, a esquematização apresentada no Modelo de Conceitos é importante, pois segundo Castelo-Branco, Cruz-Jesus e Oliveira (2019), ainda não há uma definição apropriada para o termo Indústria 4.0 e a coleta de informações pertinentes ao paradigma não é especificamente direcionada aos seus conceitos.

4.5 Considerações finais

Embora a Indústria 4.0 promova muitas oportunidades para as empresas e venha estimulando o desenvolvimento de muitas iniciativas similares no mundo inteiro, as organizações que almejam alcançar este paradigma ainda têm muitos desafios para enfrentar a

fim de promover a implementação bem-sucedida e oportuna dos seus conceitos digitais relacionados. A operacionalização da perspectiva da Indústria 4.0 e a implantação de suas soluções facilitadoras exigem novos modelos de negócios e novas estruturas operacionais que permitam um alto nível de integração e conectividade (FATORACHIAN; KAZEMI, 2018).

A colaboração representa um dos principais impulsionadores da Indústria 4.0, e está intrinsecamente relacionada com a oportunidade de gerar receitas (por meio da forte interação com clientes) e redução de custos (ao permitir a revisão dos processos e modelo de negócios com parceiros e fornecedores) por parte das empresas (MIHARDJO et al., 2018b).

Considerando que a modelagem de empresas auxilia no desenvolvimento de empresas inteligentes e que a Indústria 4.0 necessita de métodos avançados de modelagem de empresas, esta pesquisa teve como finalidade desenvolver e apresentar modelos de empresas embasados no método 4EM. Ao nosso conhecimento, a questão da colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 é pouco explorada na literatura (considerado os artigos publicados em periódicos indexados na Scopus e Web of Science e redigidos em inglês).

As informações necessárias para o desenvolvimento e apresentação dos modelos foram obtidas por meio de entrevistas com especialistas da área que trabalham em universidades, empresas de consultoria e empresas usuárias de soluções relacionadas à Indústria 4.0. A colaboração entre empresas no projeto foi o princípio norteador da modelagem, visando atender lacunas de pesquisa sinalizadas na literatura. Desta forma, os modelos desenvolvidos apresentaram uma visão ampla sobre os principais requisitos necessários para a implantação de soluções das Indústrias 4.0 e o papel dos profissionais na realização das atividades colaborativas. Esses modelos permitiram também que pesquisadores, empreendedores e interessados no desenvolvimento de tais organizações possam compreendê-las melhor e analisá-las a partir de outros recortes analíticos.

4.5.1 Contribuições da pesquisa

Esta pesquisa visou fornecer um modelo de empresas que sirva como um quadro referencial da situação atual (*As-Is*) para pesquisadores empresas que visam implantar soluções relacionadas às Indústrias 4.0. As descobertas ajudarão pesquisadores, profissionais e formuladores de políticas a compreenderem de forma detalhada o processo de adoção da

Indústria 4.0 e as barreiras que impedem sua implantação. Embora um grupo colaborativo composto por empresas europeias e instituições de pesquisa e desenvolvimento tenha desenvolvido um modelo de arquitetura de referência para a Indústria 4.0 (conhecido como RAMI 4.0), Pisching et al. (2019) afirmam que o RAMI apresenta detalhes sobre os conceitos, padrões e interações da Indústria 4.0, mas eles não detalham os procedimentos de implementação e aplicação.

As principais contribuições da pesquisa foram:

- Apoio ao aumento do conhecimento de pesquisadores acadêmicos e profissionais de mercado sobre projetos de implantação de soluções relacionadas à Indústria 4.0, ao apresentar e forma sistemática uma visão geral sobre o desenvolvimento de tais projetos.
- Representação do projeto de implantação de soluções da Indústria 4.0 no modelo de empresas que foi desenvolvido e sistematizado com os modelos de Objetivos, Regras do Negócio, Processos, Atores e Recursos, Componentes e Requisitos Técnicos, e Conceitos do método 4EM, o que além de permitir obter uma visão geral da situação atual de tais projetos, apoia a sua análise ou orientação a partir de outras perspectivas.
- Contribuição para a literatura de Indústrias 4.0, ao preencher lacunas de pesquisa sinalizadas em trabalhos anteriores.
- Representação da situação atual (As-Is) do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas à Indústria 4.0, a qual pode ser útil no desenvolvimento da situação futura (*To-Be*).

4.5.2 Limitações da abordagem e pesquisas futuras

Esta pesquisa foi baseada em opinião de especialistas de 10 organizações brasileiras de setores distintos. Pesquisas posteriores devem fornecer informações mais sistemáticas sobre os tópicos de pesquisa abordados aqui, entrevistando um conjunto mais amplo de profissionais ou unidades de análise em um mesmo setor. E, além disso, considerando que as informações desta pesquisa são provenientes da experiência de universidades, empresas de treinamento e consultoria, implantadora e adquirente de soluções relacionadas às Indústria 4.0, estudo(s) posterior(es) a ser(em) realizado(s) deve(m) contemplar o recorte analítico baseado na visão de empresas desenvolvedoras de soluções.

Os modelos apresentados nesta pesquisa analisaram o projeto de implantação de soluções relacionadas à Indústria 4.0 na ótica de redes colaborativas, em atendimento a lacunas

sinalizadas na literatura. Porém, tendo em vista que a Indústria 4.0 ainda está no estágio inicial de desenvolvimento, apenas o modelo *As-Is* foi apresentado. Assim, com a consolidação do paradigma no decorrer dos anos, recomenda-se que seja realizada uma interseção entre os requisitos necessários para a implantação e operacionalização de soluções relacionadas à Indústria 4.0 com os elementos de redes colaborativas, a fim de gerar um modelo do estado futuro (*To-Be*) que apresente claramente todos os requisitos necessários para uma colaboração eficaz entre pessoas e organizações envolvidas no projeto.

4.6 Referências

- BIRKEL, H. S. et al. Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers. **Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 384, 2019.
- BUER, S-V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924-2940, 2018.
- CAMARINHA-MATOS, L. M.; AFSARMANESH, H. A comprehensive modeling framework for collaborative networked organizations. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 18, n. 5, p. 529-542, 2007.
- CASTELO-BRANCO, I.; CRUZ-JESUS, F.; OLIVEIRA, T. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. **Computers in Industry**, v. 107, p. 22-32, 2019.
- CHONG, S. et al. Integration of 3D printing and Industry 4.0 into engineering teaching. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 3960, 2018.
- DALENOGARE, L. S. et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383-394, 2018.
- DOSSOU, P. E.; NACHIDI, M. Modeling supply chain performance. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 838-845, 2017.
- FATORACHIAN, H.; KAZEMI, H. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 29, n. 8, p. 633-644, 2018.
- FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019.

FRITZSCHE, K.; NIEHOFF, S.; BEIER, G. Industry 4.0 and Climate Change - Exploring the Science-Policy Gap. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4511, 2018.

GHADIMI, P. et al. Intelligent sustainable supplier selection using multi-agent technology: Theory and application for Industry 4.0 supply chains. **Computers & Industrial Engineering**, v. 127, p. 588-600, 2019.

GONZÁLEZ, I. et al. A Literature Survey on Open Platform Communications (OPC) Applied to Advanced Industrial Environments. **Electronics**, v. 8, n. 5, p. 510, 2019.

HAMADA, T. Determinants of Decision-Makers' Attitudes toward Industry 4.0 Adaptation. **Social Sciences**, v. 8, n. 5, p. 140, 2019.

HORVÁTH, D.; SZABÓ, R. Z. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 146, p. 119-132, 2019.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. **Computers in Industry**, v. 101, p. 107-119, 2018.

KHEYFETS, B.; CHERNOVA, V. Government programs for smart re-industrialization: Justification of strategic choice for Russia. **Revista ESPACIOS**, v. 40, n. 18, p. 30, 2019.

LIAO, Y. et al. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

MIHARDJO, L. W. W. et al. The Role of Corporate Reputation & Distinctive Organization Capability in Developing Business Model Innovation: Case study of Indonesian ICT Firms in Facing Industry Resolution 4.0. **Opción**, v. 34, n. 86, p. 2190-2208, 2018b.

MOGHADDAM, M. et al. Reference architectures for smart manufacturing: A critical review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 49, p. 215-225, 2018.

MOHAMED, N.; AL-JAROODI, J.; LAZAROVA-MOLNAR, S. Leveraging the capabilities of industry 4.0 for improving energy efficiency in smart factories. **IEEE Access**, v. 7, p. 18008-18020, 2019.

MOON, Y.; SEOL, S-S. Evaluation of the Theory of the 4th Industrial Revolution. **Asian Journal of Innovation & Policy**, v. 6, n. 3, p. 245-261, 2017.

MOSTAFA, N.; HAMDY, W.; ALAWADY, H. Impacts of Internet of Things on supply chains: A framework for warehousing. **Social Sciences**, v. 8, n. 3, p. 84, 2019.

MÜLLER, J. M.; DÄSCHLE, S. Business Model Innovation of Industry 4.0 Solution Providers Towards Customer Process Innovation. **Processes**, v. 6, n. 12, p. 260, 2018.

NURCAN, S.; ROLLAND, C. A multi-method for defining organizational change. **Information and Software Technology**, v. 41, n. 2, p. 61-82, 2003.

OKORIE, O. et al. Digitisation and the circular economy: A review of current research and future trends. **Energies**, v. 11, n. 11, p. 3009, 2018.

PÁDUA, S. I. D. Estudo sobre a aplicação do método de avaliação do modelo de processos de negócio do EKD. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 155-172, 2012.

PEREIRA, A. et al. How connectivity and search for producers impact production in Industry 4.0 networks. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 4, p. 528-534, 2018.

PISCHING, M. A. et al. An architecture based on RAMI 4.0 to discover equipment to process operations required by products. **Computers & Industrial Engineering**, v. 125, p. 574-591, 2018.

PREUVENEERS, D.; JOOSEN, W.; ILIE-ZUDOR, E. Policy reconciliation for access control in dynamic cross-enterprise collaborations. **Enterprise Information Systems**, v. 12, n. 3, p. 279-299, 2018.

RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Connecting circular economy and Industry 4.0. **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 98-113, 2019.

SAI, W-H. Green production planning and control for the textile industry by using mathematical programming and industry 4.0 techniques. **Energies**, v. 11, n. 8, p. 2072, 2018.

SALENTO, A. Digitalisation and the regulation of work: theoretical issues and normative challenges. **AI & Society**, v. 33, n. 3, p. 369-378, 2018.

STRANDHAGEN, J. O. et al. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 359-369, 2017.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução Daniel Grassi. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YIN, Y.; QIN, S-F. A smart performance measurement approach for collaborative design in Industry 4.0. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 11, n. 1, p. 1687814018822570, 2019.

ZHOU, G. et al. Knowledge-driven digital twin manufacturing cell towards intelligent manufacturing. **International Journal of Production Research**, p. 1-18, 2019.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto da transformação digital que as empresas estão vivenciando recentemente, várias abordagens vêm sendo desenvolvidas para permitir o alcance da manufatura inteligente, e entre tais abordagens, a Indústria 4.0 é a que tem mais visibilidade, sendo foco de estudo em muitas disciplinas. A iniciativa Indústria 4.0 ganhou atenção principalmente porque ela reúne um conjunto de tecnologias que podem ajudar a conseguir uma produção mais eficiente. Esta e outras abordagens da manufatura inteligente também ajudam a implementar o modo de produção sustentável para lidar com os desafios globais, podendo influenciar novos modelos de negócios e até mesmo afetar estilos de vida.

Estudos apontam que a Indústria 4.0 está intimamente relacionada com o desenvolvimento sustentável, podendo acarretar benefícios nos âmbitos ambiental, econômico e social. No âmbito ambiental, este paradigma possibilita a redução do lixo industrial, consumo de recursos, consumo de energia de fontes de energia não renováveis e possibilita o aumento da produção de energia renovável, alcance da economia circular e a colaboração com parceiros que seguem boas práticas ambientais. No econômico, a iniciativa promove o aumento de lucros, criação de valor, eficiência, flexibilidade, competitividade, diminuição de custos operacionais e criação de novos modelos de negócios; melhora a participação dos produtos no mercado, e o desempenho dos processos produtivos segurança e da gestão de cadeias de suprimentos. E no âmbito social, a Indústria 4.0 aumenta a participação dos funcionários na tomada de decisões e suas condições de trabalho, melhora as condições da sociedade envolvente, diminui os acidentes de trabalho e aumenta a colaboração entre os *stakeholders*.

A Indústria 4.0 é uma tendência importante na automação industrial, pois ela aumenta o grau de informatização, digitalização e inteligência nas indústrias. Em geral, espera-se que a Indústria 4.0 beneficie as tecnologias de inteligência de ambiente e resulte em períodos de desenvolvimento mais curtos, personalização na demanda por clientes, flexibilidade, descentralização e eficiência de recursos ambientais, humanos e econômicos. A maioria das empresas modernas está gradualmente se movendo em direção a este novo paradigma, pois com a consolidação da Indústria 4.0, os trabalhos manuais rotineiros e estressantes serão substituídos por máquinas e robôs que entregam produtos com a precisão de até 99,9996%.

Na primeira parte desta pesquisa, uma revisão integrativa da literatura sobre as Indústrias 4.0 foi apresentada, a fim de contribuir para a discussão conceitual do tema e fornecer uma visão geral dos conceitos e tecnologias relacionados, possíveis benefícios do paradigma e desafios para a consolidação. A referida revisão contribui para a literatura ao explorar lacunas

sinalizadas por vários pesquisadores, pois o tema ainda não está bem definido, o que revela que poucos profissionais são capazes de fornecer uma definição concreta da Indústria 4.0 e a ausência de uma conceituação clara ocasiona problemas de comunicação e educação sobre o assunto, além de dificultar a identificação e implementação de soluções da Indústria 4.0 por parte das empresas.

O correto uso das soluções relacionadas às Indústrias 4.0 pode ocasionar um considerável impacto na economia mundial. É previsto que 500 bilhões de dispositivos sejam conectados à internet até 2030 e até este ano a internet industrial das coisas pode acrescentar 14,2 trilhões de dólares à economia global. Mundialmente, o valor agregado das tecnologias *blockchain* poderá superar os 3 trilhões de dólares em 2030. O uso de tecnologias de realidade aumentada deverá crescer significativamente nos próximos anos, criando um mercado de 80 bilhões de dólares em 2025. E, o mercado global de *cybersecurity* deverá atingir o valor de 181,77 bilhões de dólares em 2021.

Após reconhecer o seu grande potencial transformador, outros países seguiram com sua própria versão da Indústria 4.0, e, entre eles, podem ser citados os Estados Unidos, China, Japão, Reino Unido, Suécia, Itália, Brasil, Bélgica, Holanda, Singapura, Malásia, França, Índia, Espanha, Rússia, Áustria, República Checa, Cazaquistão e Coreia do Sul. A literatura sinaliza a necessidade de condução de pesquisas sobre o tema em países em desenvolvimento, e atendendo esta lacuna, um modelo de empresas do processo de transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0 foi desenvolvido, baseado em uma entrevista com especialista que trabalha em uma empresa brasileira que implanta soluções relacionadas à estratégia.

O modelo de empresas do processo de transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0 foi estruturado por meio do método 4EM, sendo composto pelos Modelos de Objetivos, Modelo de Regras do Negócio, Modelo de Processos, Modelo de Atores e Recursos, Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos, e Modelo de Conceitos. O modelo foi devidamente validado por meio teste de aceitação (usando um questionário enviado a especialistas da área), e as poucas mudanças sugeridas foram incorporadas. Dentre outras questões o Modelo de Objetivos sinalizou que o aumento da eficiência produtiva é imprescindível para as empresas brasileiras no momento, pois devido à crise econômica vivenciada, muitas organizações estão diminuindo os turnos de trabalho ao passo que mantêm a quantidade de produtos e serviços fornecidos. Com relação às regras necessárias para o alcance dos objetivos, o investimento na gestão da mudança organizacional, treinamento dos funcionários e integração entre os vários departamentos da empresa são imprescindíveis. E por fim, o Modelo de Processos pode servir em processos de *benchmarking*, o Modelo de Atores e Recursos apresentou os profissionais

envolvidos em projetos de implantação de tecnologias relacionadas ao paradigma e duas possíveis situações de implantação, o Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos apresentou que ferramentas colaborativas baseadas na *web* (e-mails, Whatsapp, Skype, TeamViewer) são plenamente satisfatórias nos projetos e o Modelo de Conceitos listou os princípios e soluções relacionadas às Indústrias 4.0.

No desenvolvimento desta pesquisa, ao analisar a literatura sobre o tema e desenvolver o modelo de empresas do processo de transformação digital ao paradigma das Indústrias 4.0 verificou-se que no âmbito que para que a Indústria 4.0 seja formalmente estruturada, diversas questões devem ser exploradas, especialmente as relacionadas ao processo de implantação de soluções relacionadas ao paradigma. Tanto a academia quanto o mercado empresarial afirmam que a colaboração entre empresas é imprescindível para o alcance bem-sucedido do paradigma, pois tem impactos no projeto de implantação, uso, manutenção e atualização das soluções atreladas.

O desenvolvimento e apresentação de um modelo de empresas que retrata o estado atual (*As-Is*) do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 é a principal contribuição desta pesquisa. O referido modelo foi desenvolvido por meio opinião de especialistas e foi estruturado por meio do método 4EM, sendo composto pelos Modelos de Objetivos, Modelo de Regras do Negócio, Modelo de Processos, Modelo de Atores e Recursos, Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos, e Modelo de Conceitos.

O Modelo de Objetivos apresenta que a resistência cultural dos funcionários representa o principal empecilho para a aquisição e uso adequado das soluções relacionadas, pois como a Indústria 4.0 implica em sérias mudanças no ambiente de trabalho, muitos funcionários tendem a evitar sua inserção na filosofia. Muitas questões acarretam tal resistência, tais como medo de perder o emprego, medo de acidentes com robôs, receio à tomada de decisão orientada por máquinas, desconforto causado pela virtualização do chão de fábrica etc.

No Modelo de Regras do Negócio, pode-se verificar que junto com o investimento na gestão da mudança organizacional e treinamento dos funcionários, a definição clara das metas almejadas pela empresa adquirente da(s) solução(ões) é imprescindível para o sucesso da implantação do projeto. Muitas empresas podem vir a implantar as soluções apenas para seguir as tendências, porém isso pode vir a ser um grande problema, tendo em vista que os custos de aquisição das soluções relacionadas às Indústrias 4.0 são bastante elevados.

A esquematização apresentada no Modelo de Conceitos contribui tanto para a academia quanto para o mercado empresarial, pois segundo muitos pesquisadores têm sinalizado, ainda não há uma definição apropriada para o termo Indústria 4.0 e a coleta de informações

pertinentes ao paradigma não é especificamente direcionada aos seus conceitos, e isso dificulta a identificação e implementação das soluções necessárias para as empresas.

E por fim, o Modelo de Processos lista as atividades realizadas durante o projeto, o Modelo de Atores e Recursos apresenta os processos, papéis e recursos de cada profissional das empresas envolvidas no projeto de implantação das soluções (empresa desenvolvedora, empresa implantadora e empresa adquirente das soluções, empresa de treinamento e consultoria, empresas fornecedoras de bens e serviços para a empresa adquirente das soluções) e o Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos apresenta as ferramentas que podem auxiliar o projeto, bem como os requisitos necessários.

O supracitado modelo de empresas apresenta que a colaboração entre as empresas que participam do projeto de implantação de soluções da Indústria 4.0 auxilia na resolução de vários desafios inerentes ao seu desenvolvimento. Dentre muitas outras questões, por meio da colaboração, é possível:

- fornecer um treinamento mais eficaz aos funcionários de empresas adquirentes de soluções (o que representa um dos maiores empecilhos para as empresas, tendo em vista que a maioria dos funcionários não tem as habilidades necessárias para adequação ao paradigma);
- auxiliar a definição das metas almejadas pelas empresas adquirentes com a implantação da solução;
- compartilhar informações e conhecimentos dos vários participantes do projeto, o que permite a identificação de pontos fortes e fracos que podem ser menosprezados, o que auxilia futuros projetos de implantação em empresas e o bom uso das soluções adquiridas;
- identificar e explorar novas oportunidades de negócios;
- aumentar a confiança entre os parceiros para a resolução de problemas que podem surgir com o uso das soluções;
- identificar parceiros apropriados na cadeia de suprimentos de empresas adquirentes;
- reduzir custos do projeto de implantação ao usar plataformas de comunicação baseadas na *web*.

É importante ressaltar que para que o modelo de empresas seja utilizado como uma base referencial para empresas que pretendem implantar soluções relacionadas às Indústrias 4.0, é necessário que ele seja aprimorado (gerando um modelo *To-Be*) e seja validado.

Uma vez que algum modelo de empresas que contemple a situação futura (*To-Be*) do processo de colaboração entre empresas para a implantação de soluções relacionadas às Indústrias 4.0 seja devidamente validado, ele poderá ser utilizado por consultores e gestores em futuros projetos similares e por pesquisadores em novos trabalhos acadêmicos.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos⁵ sobre o tema

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Procedia Manufacturing	-		1	1	60	14			76
Procedia CIRP	-		3	21	20	1			45
IFAC-PapersOnLine	-		5	8	6	24			43
International Journal of Production Research	3,199			2	4	7	22		35
IEEE Access	4,098			3	9	10	12		34
Sustainability	2,592				2	9	22		33
Computers in Industry	4,769			1	1	8	14		24
Sensors	3,031			1	2	7	10		20
International Journal of Computer Integrated Manufacturing	2,090			2	2	2	11		17
Social Sciences	-					4	13		17
Manufacturing Letters	-		1			9	4		14
On the Horizon	-						14		14
Applied Sciences	2,217					3	10		13
IEEE Transactions on Industrial Informatics	7,377					6	7		13
Processes	1,963				2	5	6		13
Technological Forecasting & Social Change	3,815					7	4	1	12
CIRP Annals - Manufacturing Technology	3,826	2		4	4		1		11
FME Transactions	-					2	9		11
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2,496				2	2	7		11
International Journal of Recent Technology and Engineering	-					1	10		11
Brazilian Journal of Operations & Production Management	-					2	8		10
Computers & Industrial Engineering	3,518				3	3	4		10
LogForum	-				2	5	3		10
Cybernetics and Systems	1,681		2	2		1	4		9
International Journal of Production Economics	4,998				1	1	6	1	9
International Journal of Supply Chain Management	-				1	1	7		9
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	-			2	5	2			9
Process Safety and Environmental Protection	4,384					8	1		9

⁵ Foram considerados apenas artigos publicados em inglês e com acesso disponível.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Energies	2,707				2	3	3		8
IEEE Engineering Management Review	-					4	4		8
Journal of Industrial Engineering and Management	-		2	4		1	1		8
Journal of Industrial Information Integration	-				1	1	6		8
Journal of Physics: Conference Series	-				1	7			8
Advances in Manufacturing	1,603				7				7
AI & Society	-					7			7
Chinese Journal of Mechanical Engineering	1,413			5	2				7
Engineering Applications of Artificial Intelligence	3,526				1		4	2	7
Future Generation Computer Systems	5,768				1	2	4		7
International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering	-						7		7
Journal of Manufacturing Technology Management	2,642					2	5		7
Management and Production Engineering Review	-			1	1	1	4		7
Plastics Technology	-			1	2	4			7
Journal of Manufacturing Systems	3,642					4	2		6
Proceedings of SPIE	-					6			6
South African Journal of Industrial Engineering	0,547			1	1	4			6
Dyna Ingenieria e Industria	0,562					5			5
Entrepreneurship and Sustainability Issues	-			2	1		2		5
Future Internet	-					1	4		5
Journal of Cleaner Production	6,395					2	2	1	5
Journal of the Chinese Institute of Engineers	0,651				5				5
Procedia Computer Science	-		3		2				5
Production Planning & Control	3,340				1	2	2		5
Wireless Communications & Mobile Computing	1,396				2	3			5
Acta IMEKO	-					1	3		4
Advanced Engineering Informatics	3,772				1		3		4
at - Automatisierungstechnik	0,500		2	2					4
Electronics	1,764					2	2		4
Engineering	4,568				1	1	2		4

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Enterprise Information Systems	2,122					2	2		4
European Planning Studies	2,101				2	1	1		4
IEEE Computer Graphics and Applications	1,725		3			1			4
IEEE Industrial Electronics Magazine	13,241	1			2		1		4
Industrial Management & Data Systems	3,727				2	1	1		4
International Journal of Advanced Computer Science and Applications	-					1	3		4
International Journal of Engineering & Technology	-					4			4
International Journal of Information Management	5,063				1		3		4
International Journal of Online Engineering	-			3	1				4
International Journal on Interactive Design and Manufacturing	-				2		2		4
Journal of Enterprise Information Management	2,126					4			4
Journal of Sensors and Sensor Systems	-			1		2	1		4
Polish Journal of Management Studies	-			1		2	1		4
Problemy Zarządzania - Management Issues	-						4		4
Proceedings of the IEEE	10,694			4					4
Production Engineering	-		2			1	1		4
Production & Manufacturing Research	-					2	2		4
Robotics and Computer Integrated Manufacturing Technologies	-				1		2	1	4
Technologies	-					3	1		4
Acta Technica Napocensis - Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering	-					3			3
Advances in Mechanical Engineering	0,848 ⁶					2	1		3
Applied Soft Computing	4,873					3			3
Business Process Management Journal	1,880					1	2		3
CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology	2,333					3			3
Complexity	2,591					3			3
Control Engineering	0,026 ⁷		2		1				3
E-Journal of International and Comparative Labour Studies	-				1	1	1		3

⁶ Referente ao ano 2017.⁷ Referente ao ano 2010.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Education Sciences	-				1	1	1		3
Foundations of Management	-			1		2			3
Frontiers in Psychology	2,129					3			3
Frontiers of Engineering Management	-			1		2			3
Frontiers of Mechanical Engineering	0,989			2		1			3
IEEE Instrumentation & Measurement Magazine	1,024					2	1		3
Independent Journal of Management & Production	-				1	1	1		3
International Journal of Engineering Education	0,611				1		2		3
International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics	-				1	1	1		3
International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology	4,561			1	1	1			3
it-Information Technology	-					3			3
Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments	1,186				2		1		3
Journal of Security and Sustainability Issues	-		3						3
Machines	-					1			3
Management Systems in Production Engineering	-				1	1	1		3
Mathematical Problems in Engineering	1,179					3			3
MM Science Journal	-					3			3
Opción	-					2	1		3
Procedia Engineering	-				3				3
Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture	1,752						3		3
Resources, Conservation & Recycling	7,044					1	1	1	3
Solid State Phenomena	0,493 ⁸				3				3
SAGE Open	0,675			2			1		3
ABB Review	-					2			2
Ad Alta - Journal of Interdisciplinary Research	-					1	1		2
Administrative Sciences	-						2		2
Advances in Production Engineering & Management	2,047					1	1		2
Annals of Operations Research	2,284					1	1		2

⁸ Referente ao ano 2005.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Applied Energy	8,426				1	1			2
Archives of Foundry Engineering	-						2		2
Automation in Construction	4,313					2			2
Benchmarking	-						1	1	2
Business & Information Systems Engineering	3,600	1				1			2
CHIMIA International Journal for Chemistry	-			2					2
Cluster Computing	1,851				2				2
Computer	3,564				1	1			2
Computer Networks	3,030			2					2
Computer-Aided Design & Applications	-						1	1	2
Computers and Electrical Engineering	2,189				1	1			2
DEUROPE - The Central European Journal of Regional Development and Tourism	-					2			2
Economic Annals-XXI	-				2				2
Elektrotechnik & Informationstechnik	-			1		1			2
Engineering Management in Production and Services	-						2		2
Espacios	-					1	1		2
Foresight and STI Governance	-				1		1		2
Futures	2,214						2		2
IEEE Robotics and Automation Letters	-			2					2
IEEE Sensors Journal	3,076			2					2
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems	7,351						2		2
Indian Journal of Science and Technology	-		1	1					2
Information	0,358 ⁹					1	1		2
Interaction Design and Architecture(s) Journal	-					2			2
International Journal of Automation Technology	-		1				1		2
International Journal of Civil Engineering and Technology	-					1	1		2
International Journal of Engineering Pedagogy	-			1	1				2
International Journal of Environmental Research and Public Health	2,468						2		2

⁹ Referente ao ano 2012.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
International Journal of GEOMATE	-					2			2
International Journal of Industrial Engineering and Management	-				1	1			2
International Journal of Innovation Management	-				2				2
International Journal of Innovation, Creativity and Change	-						2		2
International Journal of Mechanical Engineering and Technology	-					2			2
International Journal of Operations & Production Management	4,111						2		2
International Journal of Organizational Leadership	-					2			2
International Journal of Technology	-					1	1		2
International Journal of Training Research	-						2		2
International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology	-					1	1		2
Inzinerine Ekonomika - Engineering Economics	0,730						2		2
Journal for Labour Market Research	-			2					2
Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing	1,910					2			2
Journal of Applied Engineering Science	-		1	1					2
Journal of Industrial and Business Economics	-						2		2
Journal of Management Information and Decision Sciences	-					2			2
Journal of Mechanical Engineering Research & Developments	-						2		2
Journal of Simulation	1,533			2					2
Journal of Theoretical and Applied Information Technology	-					2			2
Journal of World Business	5,789						2		2
KSII Transactions on Internet & Information Systems	0,711			2					2
Künstliche Intelligenz	-						2		2
Management Decision	1,963						2		2
Management Science Letters	-						1	1	2
MATEC Web of Conferences	-				2				2
Measurement	2,791					1		1	2
Microprocessors and Microsystems	1,045		2						2
NanoEthics	1,359				2				2

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
NEC Technical Journal	0,095 ¹⁰		1	1					2
New Technology, Work and Employment	1,219			2					2
Omics: A Journal of Integrative Biology	2,610					2			2
Organizacija	-				1		1		2
Plastics Engineering	0,250 ¹¹			1			1		2
Polimery	1,121					2			2
Simulation Modelling Practice and Theory	2,426						1	1	2
Smart Science	-			2					2
SMT Magazine	-		2						2
Societies	-			2					2
Software & Systems Modeling	2,660			2					2
Technology Analysis & Strategic Management	1,739						2		2
TEM Journal	-					2			2
Total Quality Management & Business Excellence	2,181					1	1		2
Turkish Policy Quarterly	-			1	1				2
Universal Journal of Educational Research	-						2		2
Academy of Strategic Management Journal	-				1				1
Acta Logistica	-						1		1
Ad Hoc Networks	3,490						1		1
Advances in Computational Design	-						1		1
Agricultural Economics	2,423						1		1
AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics	-						1		1
Agronomy Research	-					1			1
AIChE Journal	3,463					1			1
AIP Conference Proceedings	-					1			1
Amazonia Investiga	-						1		1
Amfiteatru Economic	1,238						1		1

¹⁰ Referente ao ano 2011.¹¹ Referente ao ano 2012.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Applied Ergonomics	2,610							1	1
ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences	-			1					1
Archives of Control Sciences	1,559						1		1
Asia-Pacific Social Science Review	-						1		1
Asian Journal of Innovation and Policy	-				1				1
BioResources	1,396						1		1
Brazilian Journal of Operations & Production Management	-						1		1
British Food Journal	1,717						1		1
Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences	1,277						1		1
Business and Economic Horizons	-					1			1
Business Systems Research	-						1		1
Business, Management and Education	-					1			1
Business: Theory and Practice	-						1		1
Calitatea	-						1		1
Central European Business Review	-				1				1
Chemical Engineering Research and Design	3,073						1		1
Chemical Engineering Transactions	-		1						1
Chemistry - An European Journal	-						1		1
Cogent Engineering	-						1		1
Computer Standards & Interfaces	2,441					1			1
Computers	-					1			1
Computers and Chemical Engineering	3,334						1		1
Computers in Human Behavior	4,306					1			1
Computers & Security	3,062						1		1
Contemporary Educational Technology	-						1		1
Current Directions in Biomedical Engineering	-					1			1
Cyber-Physical Systems	-						1		1
Dairy Industries International	0,100 ¹²					1			1

¹² Referente ao ano 2002.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technology	-					1			1
Eastern-European Journal of Enterprise Technologies	-						1		1
Economic and Social Changes; Facts, Trends, Forecast	-					1			1
Economics and Management	-						1		1
Economies	-					1			1
Education for Chemical Engineers	-					1			1
Eksplotacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability	1,806						1		1
Electrical Power and Energy Systems	-							1	1
Electronic World	-				1				1
Energy and Buildings	4,495				1				1
Energy Procedia	-				1				1
Environmental Impact Assessment Review	3,749						1		1
Eurasian Journal of Educational Research	0,357 ¹³					1			1
EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking	1,592					1			1
European Journal of Innovation Management	1,793						1		1
European Research Studies Journal	-					1			1
Evaluation Engineering	0,024 ¹⁴				1				1
Expert Systems With Applications	4,292							1	1
Fibres & Textiles in Eastern Europe	0,677						1		1
Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice	-				1				1
Frontiers in ICT	-						1		1
Glass and Ceramics	0,626						1		1
Global Sustainability	-						1		1
Gospodarka Narodowa	-					1			1
Helix	-						1		1
Human Technology	-						1		1
IEEE Communications Letters	3,457					1			1

¹³ Referente ao ano 2013.

¹⁴ Referente ao ano 2009.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano						Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	
IEEE Communications Magazine	10,356			1				1
IEEE Embedded Systems Letters	1,500						1	1
IEEE Intelligent Systems	4,464					1		1
IEEE Internet Computing	2,891				1			1
IEEE Internet of Things Journal	9,515						1	1
IEEE Network	7,503					1		1
IEEE Reviews in Biomedical Engineering	-					1		1
IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje	-						1	1
IEEE Transactions on Human-Machine Systems	3,332			1				1
IIOAB Journal	-					1		1
Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science	-						1	1
Industria Textila	0,504						1	1
Industry and Innovation	3,157						1	1
Infocommunications Journal	-						1	1
Information Fusion	10,716						1	1
Informatologia	-					1		1
Innovative Marketing	-					1		1
Integrating Materials and Manufacturing Innovation	-						1	1
Interdisciplinary Description of Complex Systems	-					1		1
International Forestry Review	1,705						1	1
International Journal for Quality Research	-					1		1
International Journal for Research in Vocational Education and Training	-					1		1
International Journal of Advanced and Applied Sciences	-						1	1
International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering	-						1	1
International Journal of Agile Systems and Management	-						1	1
International Journal of Applied Engineering Research	-						1	1
International Journal of Business Information Systems	-					1		1
International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics	-						1	1
International Journal of Communication Networks and Distributed Systems	-		1					1
International Journal of Communication Systems	1,278						1	1

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
International Journal of Computer Science and Network Security	-					1			1
International Journal of Construction Management	-						1		1
International Journal of Distributed Sensor Networks	1,614			1					1
International Journal of eBusiness and eGovernment Studies	-						1		1
International Journal of Economics and Business Research	-						1		1
International Journal of Education and Practice	-						1		1
International Journal of Energy Research	3,343						1		1
International Journal of Engineering and Advanced Technology	-						1		1
International Journal of Engineering Research and Technology	-					1			1
International Journal of Fashion Design, Technology and Education	-					1			1
International Journal of Information and Education Technology	-						1		1
International Journal of Innovation	-					1			1
International Journal of Innovation and Sustainable Development	-					1			1
International Journal of Innovation and Technology Management	-						1		1
International Journal of Interactive Mobile Technologies	-				1				1
International Journal of Logistics Management	2,226					1			1
International Journal of Manpower	0,882					1			1
International Journal of Manufacturing Research	-			1					1
International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development	-						1		1
International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research	-						1		1
International Journal of Modern Manufacturing Technologies	-		1						1
International Journal of Pharmaceutics	4,213						1		1
International Journal of Product Development	-					1			1
International Journal of Productivity and Performance Management	-						1		1
International Journal of Serious Games	-						1		1
International Journal of Scientific & Technology Research	-						1		1
International Journal of Simulation and Process Modelling	-						1		1
International Journal of Simulation Modelling	1,825						1		1
International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology	-		1						1
International Journal of Supply and Operations Management	-					1			1

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
International Journal of Sustainable Aviation	-					1			1
International Journal of Technology Intelligence and Planning	-						1		1
International Journal of Web Information Systems	-					1			1
Inżynieria Mineralna	-						1		1
IPSI BGD Transactions on Internet Research	-					1			1
IT Professional	2,424				1				1
Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems	-						1		1
Journal of Big Data	-						1		1
Journal of Business Economics	-				1				1
Journal of Business & Industrial Marketing	1,961						1		1
Journal of Central Banking Theory and Practice	-						1		1
Journal of Competitiveness	-					1			1
Journal of Computational Design and Engineering	-						1		1
Journal of Computer Science & Technology	1,185					1			1
Journal of Control Science and Engineering	-						1		1
Journal of Engineering and Applied Sciences	-					1			1
Journal of Engineering and Technology Management	2,159						1		1
Journal of Engineering Science and Technology	-						1		1
Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation	-						1		1
Journal of Global Information Technology Management	0,923						1		1
Journal of High Technology Management Research	-						1		1
Journal of Industrial and Production Engineering	-					1			1
Journal of Industrial Integration and Management	-					1			1
Journal of Innovation & Knowledge	-						1		1
Journal of Integrated Design and Process Science	-			1					1
Journal of Intelligence Studies in Business	-					1			1
Journal of Lightwave Technology	4,162						1		1
Journal of Machine Engineering	-				1				1
Journal of Machinery Manufacture and Reliability	-					1			1
Journal of Management Analytics	-		1						1

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Journal of Management Development	-						1		1
Journal of Manufacturing Science and Engineering	2,616				1				1
Journal of Mechanical Engineering	-						1		1
Journal of Mechanical Science and Technology	1,221					1			1
Journal of Modelling in Management	-					1			1
Journal of Multi-Criteria Decision Analysis	-						1		1
Journal of Network and Computer Applications	5,273					1			1
Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity	-						1		1
Journal of Purchasing and Supply Management	3,089						1		1
Journal of Quality in Maintenance Engineering	-						1		1
Journal of Research in Education Sciences	-						1		1
Journal of Risk and Financial Management	-						1		1
Journal of Scientific & Industrial Research	0,735				1				1
Journal of Sensor and Actuator Networks	-					1			1
Journal of Sensors	2,024					1			1
Journal of Siberian Federal University	-						1		1
Journal of Social Studies Education Research	-						1		1
Journal of Systems Architecture	1,159				1				1
Journal of Technology Management & Innovation	-			1					1
Journal of Urban Culture Research	-				1				1
Journal of Vocational Education & Training	-					1			1
Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications	-			1					1
Jurnal Teknologi	-			1					1
KEMANUSIAAN	-					1			1
Labour & Industry	-					1			1
Laser Focus World	0,201				1				1
Library Philosophy and Practice	-						1		1
Logistics Journal	-						1		1
Logistics Research	-					1			1
Management Research and Practice	-						1		1

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Mathematical Modelling of Engineering Problems	-					1			1
Mechanics	-				1				1
Metals	2,259						1		1
Mining, Metallurgy & Exploration	-						1		1
Montenegrin Journal of Economics	-						1		1
MREV Management Revue	-				1				1
Multinational Business Review	1,436				1				1
Network Security	-						1		1
Oeconomia Copernicana	-						1		1
Open Engineering	-			1					1
Operations Management Research	4,727						1		1
Operations Research Perspectives	-						1		1
Optics and Photonics News	-					1			1
Participatory Educational Research	-						1		1
Periodica Polytechnica - Chemical Engineering	1,382					1			1
Periodicals of Engineering and Natural Sciences	-						1		1
Post-Communist Economies	0,984						1		1
Present Environment and Sustainable Development	-						1		1
Problems and Perspectives in Management	-						1		1
Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering	1,166				1				1
Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability	1,313					1			1
Production	-						1		1
Production and Operations Management	2,171					1			1
Progress In Electromagnetics Research C	-						1		1
Prostor	-					1			1
Quality Innovation Prosperity	-						1		1
Quality - Access to Success	-						1		1
Reinforced Plastics	-			1					1
Reliability Engineering and System Safety	4,039							1	1
Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades	-						1		1

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Renewable and Sustainable Energy Reviews	10,556				1				1
Research Journal of Textile and Apparel	-					1			1
Research Policy	5,425						1		1
Revista Inclusiones	-						1		1
Revue Roumaine des Sciences Techniques - Série Électrotechnique et Énergétique	0,763					1			1
Russian Sociological Review	-				1				1
SA Journal of Human Resource Management	-				1				1
Safety Science	3,619					1			1
Science and Innovation	-					1			1
Scientific Papers of the University of Pardubice	-						1		1
Scientometrics	2,770						1		1
SEAISI Quarterly Journal	-				1				1
Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences	-					1			1
Strategic Design Research Journal	-					1			1
Steel in Translation	-						1		1
Studies on Russian Economic Development	-						1		1
Sugar Industry - Zuckerindustrie	0,495			1					1
Supply Chain Forum	-						1		1
Supply Chain Management	4,296							1	1
Sustainable Cities and Society	4,624							1	1
Systems	-					1			1
Systems Engineering	0,848						1		1
Technological and Economic Development of Economy	4,344					1			1
Technology in Society	1,670					1			1
Technology Innovation Management Review	-				1				1
Technovation	5,250				1				1
Tehnički Vjesnik	-			1					1
The Chemical Engineer	0,005 ¹⁵			1					1

¹⁵ Referente ao ano 2000.

APÊNDICE A - Periódicos indexados na Scopus e/ou Web of Science que publicaram artigos sobre o tema (Continuação)

Periódico	Fator de impacto (2018)	Ano							Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
The Design Journal	-				1				1
The Open Mechanical Engineering Journal	-		1						1
Transactions of the Indian Institute of Metals	1,176						1		1
Transactions on Emerging Telecommunications Technologies	1,258						1		1
Transportation Geotechnics	2,385						1		1
Transportation Research Part E	4,253						1		1
TripleC	-					1			1
Turkish Online Journal of Educational Technology	0,956 ¹⁶				1				1
VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems	-					1			1
Water	2,524						1		1
Welding in the World	1,278						1		1
Wireless Networks	2,405				1				1
Wireless Personal Communications	0,929					1			1
WIT Transactions on Ecology and The Environment	-				1				1
World Journal on Educational Technology: Current Issues	-						1		1
World Patent Information	-						1		1
WSEAS Transactions on Business and Economics	-						1		1
Total		4	43	122	235	394	492	18	1.308

¹⁶ Referente ao ano 2011.

APÊNDICE B - Roteiro de abordagem para entrevista de profissionais

1. Caracterização geral do entrevistado

1. Qual a sua profissão?
2. Em qual organização você trabalha?
3. Há quanto tempo você trabalha na organização?
4. Você fez algum curso, trabalhou em algum projeto ou publicou algum trabalho relacionado às Indústrias 4.0?

2. Fases do processo de reestruturação

5. Quais são as fases do processo de reestruturação da empresa em direção à filosofia das Indústrias 4.0?
6. Em qual fase a empresa se encontra?
7. Quais áreas da empresa foram afetadas pela reestruturação?
8. Quais atividades são desenvolvidas em cada fase do processo de reestruturação?
9. Quantos e quais as funções dos funcionários da empresa que participaram do processo?
10. Quais razões levaram a empresa a se reestruturar?
11. Quais foram os principais benefícios alcançados e principais barreiras encontradas no processo?

3. 4EM - Questões-guia

3.1 Modelo de Objetivos

12. Quais são as estratégias da empresa para o processo de reestruturação?
13. Existem políticas declaradas na empresa que podem influenciar o processo?

14. Quais convenções, regras, regulamentos e leis são relevantes?
15. O que a empresa espera alcançar com a adequação à filosofia?
16. Existe(m) algum(ns) problema(s) particular(es) que impede(m) o alcance de determinado(s) objetivo(s) almejado(s)?
17. Este(s) problema(s) está(ão) relacionado(s) a algum(ns) objetivo(s) específico(s)?
18. Qual(is) a(s) causa(s) deste(s) problema(s)?
19. Como este(s) problema(s) pode(m) ser minimizado(s) ou eliminado(s)?
20. Existem oportunidades específicas que podem ou poderiam ser alcançadas?
21. Na visão dos funcionários da empresa, quais ações podem ser tomadas para melhorar o processo de reestruturação?
22. Estes objetivos podem ser definidos em termos operacionais, dando um número de sub-objetivos de apoio?

3.2 Modelo de Regras do Negócio

23. Dentro da empresa existem regras ou políticas declaradas que podem influenciar o processo?
24. Por quais regras os objetivos do processo podem ser alcançados?
25. Esta(s) regra(s) está(ão) relacionada(s) a algum objetivo específico?
26. Como esta regra pode ser decomposta?
27. Como validar o cumprimento da(s) regra(s)?
28. Quais processos disparam esta(s) regra(s)?

3.3 Modelo de Processos de Negócio

- 29. Quais são os principais processos desenvolvidos durante o projeto?
- 30. Como estes processos são relacionados?
- 31. Por que estes processos são necessários?
- 32. Quais informações e fluxos de materiais o processo necessita?
- 33. Quais informações e fluxos de materiais o processo produz?
- 34. Quais regras disparam este processo?
- 35. Quais atores são responsáveis por realizar e apoiar este processo?
- 36. O aprendizado gerado no processo de implantação é sistematizado de alguma forma?

3.4 Modelo de Atores e Recursos

- 37. Quais são os principais atores que participam no processo de reestruturação?
- 38. Como esses atores se relacionam?
- 39. Por quais processos este ator é responsável?
- 40. Quais processos este ator realiza?
- 41. Quais regras do negócio são definidas por este ator?
- 42. Por quais recursos este ator é responsável?
- 43. Quais recursos este ator possui?

3.5 Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos

- 44. Quais sistemas de informação são ou poderiam ser utilizados para a gestão do processo de reestruturação?
- 45. Quais são os objetivos deste sistema?
- 46. Quais as funcionalidades deste sistema?
- 47. Quais requisitos este sistema precisa cumprir?
- 48. Quais atores acessam este sistema?
- 49. Quais objetivos do processo de implantação este sistema auxilia?

3.6 Modelo de Conceitos

- 50. Quais são as principais entidades do processo de reestruturação?
- 51. Como estas entidades são relacionadas?
- 52. Por que esta entidade é necessária?
- 53. Estas entidades apoiam alguma regra do negócio?
- 54. Os atributos da entidade são decompostos em sub-atributos?

APÊNDICE C - Roteiro de abordagem para entrevista de profissionais

1. Caracterização geral da empresa

1. Qual a sua profissão?
2. Em qual organização você trabalha?
3. Há quanto tempo você trabalha na organização?
4. Você fez algum curso, trabalhou em algum projeto ou publicou algum trabalho relacionado às Indústrias 4.0?

2. Fases do processo de implantação da tecnologia ou serviço

5. Na sua opinião, quais razões levam as empresas adquirentes (ou usuárias) a implantarem a(s) tecnologia(s) ou serviço(s) relacionado(s) às Indústrias 4.0?
6. Como e por que ocorre a colaboração entre as empresas para a implantação da tecnologia ou serviços relacionados às Indústrias 4.0?
7. Quais empresas são envolvidas nesta colaboração?
8. Qual a importância da colaboração entre as empresas?
9. Existem indicadores de desempenho para mensuração da efetividade da colaboração?
10. Quais áreas das empresas que participam no projeto são afetadas pela implantação?
11. O que as empresas adquirentes esperam alcançar com a implantação da tecnologia?

3. 4EM - Questões-guia

3.1 Modelo de Objetivos

12. Quais são os principais objetivos almejados pelas empresas adquirentes com a implantação da tecnologia ou serviço relacionado às Indústrias 4.0?

13. Existe(m) alguma(s) ameaça(s) ou restrição(ões) particular(es) que impede(m) o alcance de determinado(s) objetivo(s) almejado(s)?
14. Qual(is) a(s) causa(s) desta(s) ameaça(s) ou restrição(ões)?
15. Como esta(s) ameaça(s) ou restrição(ões) pode(m) ser minimizada(s) ou eliminada(s)?
16. Existe(m) oportunidade(s) específica(s) que pode(m) advir com o alcance de determinado objetivo?

3.2 Modelo de Regras do Negócio

17. Por qual(is) regra(s) os objetivos do processo podem ser alcançados?

3.3 Modelo de Processos de Negócio

18. Quais são os principais processos desenvolvidos durante o projeto?
19. Quais informações e fluxos de materiais o processo necessita?
20. Quais informações e fluxos de materiais o processo produz?

3.4 Modelo de Atores e Recursos

21. Quais são os principais atores (funcionários) que participam no processo de implantação?
22. Por quais processos este ator é responsável?
23. Por quais recursos este ator é responsável?

3.5 Modelo de Componentes e Requisitos Técnicos

24. Quais sistemas de informação são ou poderiam ser utilizados para a gestão do processo de implantação?

25. Qual sistema de informação é utilizado para troca de informações entre as empresas?
Há problemas com relação a compatibilidade tecnológica? Caso sim, o que fazer para saná-los?

26. Quais as funcionalidades deste sistema?

27. Quais atores (funcionários) acessam este sistema?

3.6 Modelo de Conceitos

28. Quais são os principais conceitos relacionados ao processo de implantação da tecnologia ou serviço?