

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANA LAURA CANASSA BASSETO

MODELO DE MATURIDADE PARA A ANÁLISE DAS INDÚSTRIAS
NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

DISSERTAÇÃO

PONTA GROSSA

2019

ANA LAURA CANASSA BASSETO

**MODELO DE MATURIDADE PARA A ANÁLISE DAS INDÚSTRIAS NO
CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dr^a. Joseane Pontes

Co-orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

PONTA GROSSA

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa
n.57/19

B319 Basseto, Ana Laura Canassa

Modelo de maturidade para a análise das indústrias no contexto da indústria 4.0.
/ Ana Laura Canassa Basseto, 2019.
183 f.; il. 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Joseane Pontes

Co-orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

1. Produtividade. 2. Indústrias. 3. Sistemas difusos. I. Pontes, Joseane. II. Yoshino, Rui Tadashi. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 670.42

Elson Heraldo Ribeiro Junior. CRB-9/1413. 29/07/2019.



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título de Dissertação N° **342/2019**

PROPOSTA DE MODELO DE MATURIDADE PARA AS INDÚSTRIAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

por

Ana Laura Canassa Basseto

Esta dissertação foi apresentada às **10 horas de 17 de junho de 2019**, como requisito parcial, para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Paulo Leitão (IPB)

Prof. Dr. Augusto Foronda (UTFPR)

**Prof. Dr. Luis Mauricio Martins de Resende
(UTFPR)**

Prof. Dr.^a Joseane Pontes (UTFPR)
Orientador(a) e Presidente da Banca

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski (UTFPR)
Coordenador do PPGE
UTFPR – Câmpus Ponta Grossa

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE
REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR - CÂMPUS PONTA GROSSA

“Que os vossos esforços
desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes
coisas do homem foram
conquistadas do que parecia
impossível”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus por me abençoar e conduzir durante este trabalho.

Ao professor Luis Mauricio Martins de Resende e a professora Joseane Pontes, por terem me aceitado no grupo de pesquisa e ter incentivado a realização deste trabalho.

A minha orientadora professora Joseane Pontes, por toda paciência, sugestões e orientações para as etapas deste trabalho.

Ao co-orientador professor Rui Tadashi Yoshino, pelo acompanhamento e orientações durante este trabalho;

Aos meus pais, Maria e Odair, que sempre me ensinaram a persistir, ter fé e determinação nos meus objetivos. Serei eternamente grata pelas orações e por acreditarem nos meus sonhos, me dando a oportunidade de estudar e deixando a maior herança que vocês poderiam me dar: conhecimento. Dedico este trabalho ao meu pai, que me incentivou, apoiou e me ajudou para a realização deste sonho.

Aos meus irmãos, Alessandra e Guilherme, que me apoiaram.

Ao meu namorado Daniel que me ajudou, auxiliou, apoiou e se dedicou ao meu lado para que este sonho se tornasse real, por estar comigo em todos os momentos.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa Engenharia Organizacional e Redes de Empresas - EORE, principalmente ao Luis Fernando, Vitor Hugo, Gustavo, Franciele, Isabela, Tafaél e Ana Carolina.

Aos meus colegas de outros grupos por sempre estarem do meu lado nos momentos difíceis, em especial Camila, Kaline e Mary Ane por permanecerem ao meu lado, a Katieli Tives por me auxiliar e apoiar no desenvolvimento deste trabalho.

A minha eterna turma de graduação da UTFPR - Medianeira, em especial Anyelly, Caroline, Giovanna, Bianca e Caiã.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEPP pelos ensinamentos passados nas disciplinas cursadas.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

RESUMO

BASSETO, A. L. C. **Modelo de maturidade para a análise das indústrias no contexto da indústria 4.0.** 2019. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

A Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, promove melhorias em produtividade, qualidade, atendimento e dentre outras vantagens, a flexibilidade para as indústrias, estimulando assim a competitividade e o desenvolvimento econômico de uma região ou país. Além disso, promove mudanças na sociedade e estimula novos trabalhos acadêmicos, dentre eles, o estudo do nível de maturidade da indústria no contexto da Indústria 4.0. Diante deste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de propor um modelo de maturidade para analisar as indústrias no contexto da Indústria 4.0. Para isto, foi realizada uma revisão de literatura para contextualizar as características, componentes e modelos de maturidade para a Indústria 4.0. Com base neste portfólio, foi possível construir um modelo estruturado apoiado por questionário que foram tratados e analisadas utilizando a Lógica Fuzzy, no intuito de avaliar a situação atual da indústria quanto aos níveis evolutivos de maturidade. O modelo proposto, foi aplicado em 7 indústrias da região dos Campos Gerais - Paraná, tendo como principal resultado, as diferenças de níveis de maturidade para as indústrias em quatro dimensões: “Tecnologia”, “Processo” “Produto” e “Estratégia da Organização”. No geral, as três das indústrias participantes apresentaram maior representatividade no Nível 2 - Alerta, e as outras quatro no Nível 3 - Aceitável. Dentre as indústrias participantes, duas delas possuem maior representatividade na dimensão “Processo”, e a dimensão que apresentou maior carência foi a de “Tecnologia”. Esse resultado se deve ao desconhecimento da indústria sobre os conceitos, características e componentes da Indústria 4.0 e ainda todos os benefícios que estes podem proporcionar.

Palavras-chave: Modelo de maturidade. Indústria 4.0. Lógica fuzzy.

ABSTRACT

BASSETO, A. L. C. Maturity model for analysis of industries in the context of Industry 4.0. 2019. 184 p. Thesis (Master's Degree in Production Engineering) - Graduate Program in Production Engineering, Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

The Fourth Industrial Revolution boost the Industry as a new strategy to obtain competitiveness and productivity. Thereby, this concept is impacting directly on the development of industries, academic works and society. Thus, the main goal of the present work is to propose a maturity model able to assist companies in identifying their evolutionary level in the context of Industry 4.0. Based on this portfolio, it was possible to construct a structured model in order to evaluate the current situation of the company on the levels of maturity in evolutionary degrees. The developed model was applied in the region of Campos Gerais - Paraná, where the main result was the objective and logical application, which can be extended to the national level for the comparison by segment of the companies, in order to identify the evolutionary differences in their maturity levels. The proposed model was applied to seven industries in the region of Campos Gerais - Paraná, with the main result the presentation of the differences in maturity levels for industries in four dimensions: "Technology", "Process", "Product" and "Organization Strategy" . In general, three of the participating industries were more representative in Level 2 - Alert, and the other four in Level 3 - Acceptable. Among the participating industries, two of them are more representative in the "Process" dimension, and the dimension that presented showed more deficiency was "Technology".

Keywords: Maturity model. Industry 4.0. Fourth industrial revolution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura do trabalho.....	23
Figura 2 - CPS integrando-se com os sistemas inteligentes	43
Figura 3 - Descrição das etapas do processo de captação de dados da IoT	45
Figura 4 - Representação da IoT na cadeia de valor	47
Figura 5 - Modelos padrões de serviços em nuvem.....	52
Figura 6 - Exemplo de aplicações	53
Figura 7 - Sequência da Análise Sistemática de Literatura.....	84
Figura 8 - Nuvem de palavras (palavras-chave mais utilizadas)	85
Figura 9 - Etapas do desenvolvimento do trabalho.	90
Figura 10 - Número fuzzy triangular	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Publicações de trabalhos da revisão bibliográfica	90
Gráfico 2 - Critérios para fuzzificar valores discretos atribuídos aos elementos para a avaliação	100
Gráfico 3 - Exemplo da associação triangular da dimensão Tecnologia	102
Gráfico 4 - Segmentos das indústrias que participaram do pré-teste.....	103
Gráfico 5 - Porte das indústrias que participaram do pré-teste	104
Gráfico 6 - Análise do nível de maturidade das indústrias para o pré-teste	105
Gráfico 7 - Segmentos das indústrias	109
Gráfico 8 - Porte das indústrias que participaram	109
Gráfico 9 - Análise do nível de maturidade das sete indústrias.....	110
Gráfico 10 - Situação da Indústria A para cada dimensão	112
Gráfico 11 - Situação da Indústria B para cada dimensão	113
Gráfico 12 - Situação da Indústria C para cada dimensão	114
Gráfico 13 - Situação da Indústria D para cada dimensão	115
Gráfico 14 - Situação da Indústria E para cada dimensão	117
Gráfico 15 - Situação da Indústria F para cada dimensão	119
Gráfico 16 - Situação da Indústria G para cada dimensão	120
Gráfico 17 - Resultado da média dos dados tratados pela Lógica Fuzzy de cada indústria para cada uma das dimensões	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características das eras industriais.....	27
Quadro 2 -Sinônimos da Indústria 4.0 em outros países	30
Quadro 3 - Características da evolução da China referente aos anos	38
Quadro 4 - Resumo dos componentes da Indústria 4.0	62
Quadro 5 - Legenda	79
Quadro 6 - Caracterização da Pesquisa	83
Quadro 7 - Níveis de maturidade proposto pela universidade norte-americana Carnegie Mellon	92
Quadro 8 - Principais componentes a serem mensurados no questionário	93
Quadro 9 - Definição do porte da empresa	96
Quadro 10 - Escala linguística de Números Triangulares Fuzzy.....	100
Quadro 11 - Variáveis linguísticas e os respectivos intervalos.....	100
Quadro 12 - Informações coletadas no pré-teste do questionário.....	103
Quadro 13 - Informações coletadas das indústrias no questionário.....	108
Quadro 14 - Sugestões para que as indústrias possam evoluir para o nível seguinte.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise dos principais componentes da Indústria 4.0 nos 11 modelos de maturidade	80
Tabela 2 - Informações relevantes para Análise Sistemática de literatura na base <i>Web of Science</i>	86
Tabela 3 - Informações relevantes para Análise Sistemática de literatura na base <i>Scopus</i>	87
Tabela 4 - Resumo dos critérios utilizados	88
Tabela 5 - Resultados obtidos do pré-teste das indústrias em porcentagem com seu respectivo nível	105
Tabela 6 - Resultados obtidos da aplicação das indústrias em porcentagem com seu respectivo nível	111
Tabela 7 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria A	112
Tabela 8 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria B	113
Tabela 9 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria C	115
Tabela 10 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria D	116
Tabela 11 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria E	117
Tabela 12 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria F	119
Tabela 13 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria G	120

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

AMP	Advanced Manufacturing Partnership
AR	Augmented Reality
AGVs	Automated Guided Vehicles
BEMS	Building Energy Management System
CMMI	Capability Maturity Model Integration
CM	Cloud Manufacturing
CBDM	Cloud-Based Design and Manufacturing
CPS	Cyber Physical
LVP	Cyber-Physical Production Systems
DoE	Department of Energy
DREAMY	Digital Readiness Assessment Maturity Model
E2E	End-to-End
ERP	Enterprise Resource Planning
EUA	Estados Unidos
ENISA	European Network and Information Security Agency
FEMS	Factory Energy Management System
GTI 4.0	Grupo de Trabalho da Indústria 4.0
IWNs	Industrial Wireless Networks
IaaS	Infrastructure as a Service
IA	inteligência artificial
IoP	Internet of Persons
IoS	Internet of Service
IoT	Internet of Things
MIS	Management Information Systems
MÊS	Manufacturing Execution System
MVMM	Manufacturing Value Modeling Methodology
M2DDM	Maturity Model for Data-Driven Manufacturing
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
NIST	National Institute of Standards and Technology
NTP	National Technology Platform
P2P	Perr to perr
PaaS	Platform-as-a-Service

PLM	Product Lifecycle Management
SOA	serviceoriented architectures
SM	Smart manufacturing
SPICE	Software Process Improvement and Capability Determination
SaaS	Software-as-a-Service
SFN	Sotware-Defined Networks
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCM	Supply Chain Management
SDM	Supply-Demand Matching
SDMSim	Supply-Demand Matching Simulator
SMMI 4.0	System Integration Maturity Model Industry 4.0
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
WM4.0	Toolbox Workforce Management 4.0
3D	Tridimensional (3D),
VR	Virtual Reality
ViDX	Visual Diagnostics of Assembly Line Performance
WNs	Wireless networks

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos.....	18
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.2.1 A Relação entre o Tema do Trabalho, Engenharia de Produção, Linha e o Grupo de Pesquisa.....	20
1.3 ESCOPO DO TRABALHO	21
1.4 ASPECTOS METODOLÓGICOS	21
1.5 ESTRUTURA	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1 HISTÓRICO DAS REVOLUÇÕES INDÚSTRIAS	24
2.2 INDÚSTRIA 4.0.....	28
2.2.1 Características Gerais da Indústria 4.0.....	33
2.2.2 Características da Indústria 4.0 na Alemanha	36
2.2.3 Características da Indústria 4.0 nos Estados Unidos.....	37
2.2.4 Características da Indústria 4.0 na China	38
2.2.5 Características da Indústria 4.0 na Coreia do Sul.....	39
2.2.6 Características da Indústria 4.0 no Brasil	40
2.3 COMPONENTES DA INDÚSTRIA 4.0.....	41
2.3.1 Cyber Physical System (CPS)	41
2.3.2 Internet of Things (IoT)	44
2.3.3 Big Data e Big Data Analysis	50
2.3.4 Cloud Manufacturing (CM).....	51
2.3.5 Information Security	54
2.3.6 Economia de Energia.....	56
2.3.7 Infraestrutura Inteligente	56
2.3.8 Perfil Profissional 4.0	59
2.3.9 Quadro resumo	62
2.4 MODELOS DE MATURIDADE NA INDÚSTRIA 4.0	66
2.4.1 Modelo “Toolbox Workforce Management 4.0”	66
2.4.2 Modelo “DREAMY”	68
2.4.3 Modelo “Industrie 4.0 Maturity Index”	69
2.4.4 Modelo “Indústria 4.0-MM”	69
2.4.5 Modelo “Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)”	71
2.4.6 Modelo “The IoT Technological Maturity Model”	72
2.4.7 Modelo “SMMI 4.0”	74
2.4.8 Modelo “Industry 4.0 Maturity Model”	75
2.4.9 Modelo “The Digital Maturity Model 4.0”	76

2.4.10	Modelo “Manufacturing Value Modeling Methodology”	77
2.4.11	Modelo “IMPULS - Industrie 4.0- Readiness”	78
2.4.12	Discussão sobre os modelos de Maturidade na Indústria 4.0	79
2.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	80
3	METODOLOGIA.....	82
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	82
3.2	METODOLOGIA PARA A CONSTRUÇÃO DA BASE TEÓRICA DO MODELO DE MATURIDADE PARA A ANÁLISE DO SETOR INDUSTRIAL NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0.	83
3.2.1	Construção do Portfólio Bibliográfico	83
3.2.2	Procedimentos para a Realização da Revisão de Literatura	83
3.3	PROPOSTA DO MODELO DE MATURIDADE PARA INDÚSTRIAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0	91
4	APLICAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE PARA AS INDÚSTRIAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0 NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS (PR - BRASIL).....	107
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0	107
4.2	ANÁLISE DA MATURIDADE DAS INDÚSTRIAS A PARTIR DA LÓGICA FUZZY	110
4.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O NÍVEL DE MATURIDADE DAS INDÚSTRIAS ANALISADAS.....	121
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
5.1	ANÁLISE DOS OBJETIVOS	128
5.2	APLICAÇÃO	129
5.3	MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS.....	129
5.4	CONTRIBUIÇÕES PARA O TRABALHO	130
5.5	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	131
	REFERÊNCIAS.....	133
	APÊNDICE A - MODELOS DE MATURIDADE NA INDÚSTRIA 4.0	147
	APÊNDICE B - RELAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS COMPONENTES DA INDÚSTRIA 4.0 COM OS MODELOS DE MATURIDADE	151
	APÊNDICE C - QUADRO RESUMO DOS ARTIGOS DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO ORDENADOS PELA METODOLOGIA <i>METHODI ORDINATIO</i>	154
	APÊNDICE D - CARACTERÍSTICAS DE CADA NÍVEL DE MATURIDADE	164
	APÊNDICE E - FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0.....	168
	APÊNDICE F - RELAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS COMPONENTES DA INDÚSTRIA 4.0 COM O MODELO PROPOSTO NESTE TRABALHO.....	181

1 INTRODUÇÃO

Desde o ano de 1750 as indústrias estão evoluindo tecnologicamente e isto pode ser observado através do avanço tecnológico proporcionado pelas revoluções industriais que progrediram continuamente (TUNZELMANN, 2003; THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Inicialmente, com a Primeira Revolução Industrial no século XVIII, através da máquina a vapor e posteriormente, com a Segunda Revolução Industrial, no início do século XIX, com a produção em massa. Logo em seguida, no final do século XX, a Terceira Revolução Industrial, com a automação das linhas e a utilização da tecnologia da informação (TI) (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

A partir de 2011 iniciaram-se os planos estratégicos de avanços tecnológicos em uma feira em Hanôver na Alemanha, onde foi apresentado o termo Indústria 4.0, dando início para a Quarta Revolução Industrial (HOFMANN; RÜSCH, 2017; THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Este mesmo termo “Indústria 4.0” possui outros sinônimos que podem variar de acordo com o país que pratica o conceito, como será descrito no decorrer deste trabalho: *Industry 4.0* (Indústria 4.0), *Fourth Industrial Revolution* (Quarta Revolução Industrial), *Smart Manufacturing* (Fábrica Inteligente), *Advanced Manufacturing* (Fabricação Avançada) ou também *Industrial Internet* (Internet Industrial). É pertinente mencionar que alguns sinônimos serão utilizados ao longo do trabalho: manufatura ou fábrica inteligente, Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial.

Neste contexto, faz-se importante apresentar um conceito breve sobre a Indústria 4.0. Em resumo, indústria 4.0 é o modelo de indústria inteligente que dará a oportunidade para novas plataformas CPS (*Cyber Physical System*) sendo apoiadas aos processos industriais colaborativos tornando-se autossuficientes, além de integrar redes de negócios associados à indústria em tempo real (LI; XU, 2017). No capítulo 2 serão apresentados os principais conceitos de indústria 4.0 de forma mais detalhada.

Alguns países tais como Alemanha, EUA, China, Coreia do Sul se destacam por buscar novas estratégias voltadas para a Indústria 4.0, isto pode ser evidenciado através dos incentivos governamentais a estes países, como por exemplo na Alemanha onde introduziu-se pacotes políticos e financeiros, além de inúmeros representantes dos setores privados industriais que se comprometeram a investir 2,5 bilhões de euros em pesquisa na área (IEDI, 2018).

De acordo com um estudo FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro) SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) em parceria com a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) (2019), apontam um investimento dos Estados Unidos de 496 bilhões de dólares investidos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para a Indústria 4.0.

Já na China, a *State Development and Investment Corporation* - SDIC (Corporação Estatal de Desenvolvimento e Investimento) criou um Fundo de Investimento de Manufatura Avançada que conta com um valor de 2,7 bilhões de euros, sendo estes recursos providos do governo central, SDIC, Banco Indútrial e Comercial da China, além de recursos vindo de algumas províncias (IEDI, 2018).

De acordo com Business Korea (2015), o governo da Coreia do Sul visa obter recursos até o ano de 2020, 972 milhões de dólares, além de instalar 10.000 fábricas inteligentes para investir em tecnologias como hardware e software.

Já o Brasil, país onde será realizado o estudo, o Governo Federal lançou um pacote para estimular as fábricas brasileiras a se desenvolverem no contexto da Indústria 4.0. Este programa visa destinar 8,6 bilhões de reais para financiar indústrias e zerar a alíquota para a importação de robôs. Além disso, o BNDS (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) destinará 5 bilhões em crédito para desenvolver indústrias neste contexto. Já a FINEP irá conceder 2,5 bilhões utilizando a Taxa de Juros de Longo Prazo e o Banco da Amazônia irá destinar 1,1 bilhão. Além disto o MDIC (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços) irá incentivar as *startups* e indústrias para se desenvolverem em soluções tecnológicas, destinando cerca de 30 milhões de reais no ano de 2019 (PUPO; SIMÃO, 2018).

Para atender as necessidades pela demanda do mercado mundial, as indústrias possuem como estratégia a Indústria 4.0 pois através desta estratégia, melhoram a flexibilidade, agilidade, qualidade e eficiência para responder rapidamente as mudanças de demanda do produto e serviço. Isso é possível através do avanço da área de tecnologia, inteligência artificial (IA) e a tecnologia da informação (TI), levando em conta papeis básicos como a gestão da qualidade e a metrologia (DURAKBASA et al., 2018).

Esta nova era industrial, possui um alto grau de tecnologia e digitalização, onde as indústrias “digitais” buscarão trabalhar de forma disruptiva, em conjunto com os clientes e fornecedores em um ecossistema industrial digital (SALTIÉL; NUNES, 2017; CAROLIS et al., 2017).

A Indústria 4.0 vem sendo um novo marco para as indústrias a nível mundial, o seu estudo tem sido requisitado no contexto industrial, social e acadêmico, como será explanado na seção 1.2. Além disso, é possível observar que as mudanças tecnológicas que envolvem a Indústria 4.0 estão sendo rápidas e radicais a ponto de nem sempre haver maturidade por parte da indústria para contemplar todas as características e componentes alinhados à Indústria 4.0 (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

Apesar de haver este novo conceito, nem todas as indústrias estão maduras para se tornar 4.0, carecendo de uma forma para identificar em qual nível a indústria está em relação aos conceitos sobre Indústria 4.0. Desta forma, para apoiar os novos modelos de serviços e produtos, faz-se necessário meios para identificar a situação atual da indústria e assim avançar tecnologicamente e digitalmente.

Diante deste contexto, faz-se importante o desenvolvimento de um modelo de maturidade para analisar a situação atual das indústrias que estão buscando se adequar aos conceitos e requisitos da Indústria 4.0 e assim ter um ponto de partida para que as indústrias possam se desenvolver tecnologicamente e digitalmente, de modo a identificar o nível das indústrias que estão inseridas neste contexto, contribuindo para que os gestores possam entender as oportunidades de avançarem tecnologicamente, buscando melhorias, tecnologias, integração, agilidade, adaptabilidade, flexibilidade, qualidade, sustentabilidade e gestão em tempo real.

Dado o exposto, apresenta-se a seguinte pergunta de partida: **Como desenvolver um modelo de maturidade para analisar as indústrias no contexto da Indústria 4.0?**

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de maturidade para analisar as indústrias no contexto da Indústria 4.0.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar as características pertinentes à Indústria 4.0;
- b) Estabelecer os componentes da Indústria 4.0, com base na literatura multiáreas;
- c) Identificar modelos de maturidade existentes no contexto da Indústria 4.0;
- d) Relacionar os componentes e os modelos de maturidade voltados para a Indústria 4.0;
- e) Caracterizar as dimensões pertinentes a Indústria 4.0;
- f) Estabelecer os níveis de maturidade no contexto da Indústria 4.0 através do modelo de maturidade proposto;
- g) Testar o modelo em indústrias inseridas no contexto da Indústria 4.0 em uma região do Paraná (Brasil).

1.2 JUSTIFICATIVA

O tema Indústria 4.0 tem gerado curiosidade nos âmbitos acadêmicos, social e econômico, considerando a quantidade exponencial de artigos publicados sobre o tema desde o ano de 2011, para a revisão sistemática de literatura realizada para este trabalho foram encontrados um total de 7549 artigos. Em função das melhorias para a indústria refletidas no aumento da qualidade e produtividade a partir dos conceitos da Indústria 4.0, refletidas em redução de custos e aumento financeiro, e ainda sociais, em função da preocupação da comunidade, especialmente em relação as mudanças no mercado de trabalho.

Sendo assim, faz-se pertinente o tema do presente trabalho, uma vez que artigos recentes apontam sua importância acadêmica, como por exemplo os artigos desenvolvidos por Li et al., (2015), Rajnai e Kocsis (2018), Liao et al., (2017), Wang et al., (2016), Posada et el. (2015). Também é possível observar a importância do tema na área econômica, dados os investimentos por partes de vários países em Indústrias 4.0, conforme verificado anteriormente como por exemplo na Alemanha com um investimento de 2,5 bilhões de euros e os Estados Unidos de 496 bilhões de dólares. Na área social, a importância se dá em função da análise de geração de

emprego e renda que estão surgindo no mundo, conforme será visto na seção 2.3.8 do Capítulo 2.

Além da relevância sobre o tema geral do trabalho, segundo autores tais como Carolis et al. (2017), as indústrias carecem de um modelo capaz de auxiliá-las no desenvolvimento e avanço da manufatura inteligente. Com isso, justifica-se a presente pesquisa a partir deste tema, uma vez que sua análise permitirá melhorar uma lacuna na literatura pertinente, que segundo Schumacher; Erol; Sihn (2016) relaciona-se à identificação da situação atual da indústria no contexto da Indústria 4.0 para melhorar seus processos.

Para ampliar a demonstração desta lacuna, Gökalp et al. (2017), aponta as dificuldades quanto ao desenvolvimento de um modelo de maturidade na Indústria 4.0. Desta forma, verifica-se a importância de desenvolver um modelo de maturidade que possa analisar a situação da indústria quanto ao desenvolvimento sobre a Indústria 4.0. Segundo Thoben, Wiesner e Wuest (2017), este novo modelo de indústria envolve diferentes áreas, tais como engenharia de produção, engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciência da computação. Sendo assim, para o desenvolvimento deste trabalho será necessário uma pesquisa multidisciplinar e multiáreas para que seja efetiva.

Com isso, o presente trabalho pretende, através do tema proposto, contribuir nos âmbitos acadêmicos, econômicos e sociais:

-Acadêmico: identificação dos componentes da Indústria 4.0 a partir de estudos multiáreas, além da realização da revisão de literatura quanto os modelos de maturidade já existentes na Indústria 4.0 e os pontos a serem melhorados e contemplados neste modelo a ser desenvolvido. Com isso, propor um modelo de maturidade para as indústrias no contexto da Indústria 4.0.

-Econômico: estímulo à visibilidade das indústrias no contexto da Indústria 4.0 a partir de conceitos multiáreas e multidisciplinares da Indústria 4.0, estimulando o avanço de melhorias de produtividade, flexibilidade, qualidade, redução de tempo e custo, ganhos financeiros e demais melhorias apontadas nos conceitos da Indústria 4.0.

-Social: explanação sobre as melhorias da Indústria 4.0 para a sociedade a partir dos conceitos apontados da Indústria 4.0, e preparação aos trabalhadores a partir dos níveis de maturidade em indústrias no conceito da Indústria 4.0.

1.2.1 A Relação entre o Tema do Trabalho, Engenharia de Produção, Linha e o Grupo de Pesquisa

De acordo com a ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção (2006), o Engenheiro de Produção possui diversos papéis dentro do mercado de trabalho. Compete ao profissional dessa área, projetar, implementar, operar, avaliar e prever resultados (utilizando métodos de análise da engenharia), obter melhoria e a manutenção dos sistemas produtivos envolvendo bens e serviços, além de integrar homens, tecnologia, recursos, energia e informações.

Este profissional integra vários fatores de cunho tecnológico e científico, atendendo aos requisitos de produzir com eficiência, qualidade, redução de retrabalho e custos, reduzir impactos ambientais e buscar melhoria contínua nos processos.

Pode se observar que tais definições sobre o Engenheiro de Produção estão ligadas diretamente com o ambiente de Indústria 4.0. Este novo modelo de indústria exige a colaboração de diferentes áreas, como engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciência da computação para a sua realização (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

O presente trabalho está inserido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Gestão da Produção e Manutenção, que tem como foco desenvolver pesquisas aliadas à gestão das organizações, estratégia, gestão empreendedora e avaliação de desempenho organizacional e ao grupo de pesquisa Engenharia Organizacional em Redes de Empresas (EORE).

Observa-se a integração entre o tema de pesquisa voltado aos modelos de maturidade para a Indústria 4.0 com o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), a linha de pesquisa Gestão da Produção e Manutenção, e com grupo de estudo Engenharia Organizacional em Redes de Empresas (EORE), uma vez que o tema contribui para o desenvolvimento dos conceitos voltados a engenharia e gestão da Produção, onde promove melhorias para a indústria em termos de gestão e operação, tais como qualidade, produtividade, sustentabilidade, tecnologia, engenharia organizacional e redes. Tais informações auxiliarão para a construção do modelo de maturidade voltado à Indústria 4.0.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Faz-se importante mencionar que o presente trabalho estará estruturado nos conceitos da Indústria 4.0, buscando analisar características, componentes, dimensões e níveis de maturidade de indústrias que buscam a Quarta Revolução Industrial. Neste sentido, o presente trabalho delimita-se ao estudo do setor industrial e especificamente as indústrias que já estão inseridas neste contexto.

Neste sentido as indústrias que pertencem ao cenário da primeira, segunda e terceira revolução industrial não fazem parte do escopo deste trabalho. Para elucidar esta questão, o Capítulo 3 na seção 3.3, apresentará explicação sobre como o presente trabalho tratará esta questão.

Com isso, o presente trabalho tem o intuito de desenvolver um modelo de maturidade para analisar as indústrias no contexto da Indústria 4.0. A proposta utilizará ferramentas justificadas ao longo deste trabalho, com foco em indústrias que estão ingressadas e que pretenderão melhorar continuamente neste novo e disruptivo conceito.

Neste sentido, o foco deste trabalho é o desenvolvimento do modelo dos níveis de maturidade, tendo a análise das indústrias como efeito. Faz-se importante frisar que o presente trabalho não pretende esgotar o tema, porém pretende desenvolver um modelo que permitirá às indústrias avançar estruturalmente no conceito da Indústria 4.0.

1.4 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Embora o presente trabalho destine um capítulo somente para explanar sobre a metodologia do trabalho (Capítulo 3), será explanado brevemente os aspectos metodológicos do mesmo para prospectar a estrutura metodológica geral do trabalho. Para o desenvolvimento do Capítulo 2, serão utilizadas metodologias específicas, bem como base de dados específicas para revisão de literatura conforme será verificado na seção 3.1, onde serão explicadas as etapas que consistem em classificar os artigos de maior relevância, objetivando desenvolver um portfólio de qualidade através das buscas sistemática de artigos. Através da Revisão Sistemática de Literatura será

possível identificar os componentes da Indústria 4.0, bem como os modelos de maturidade existentes nesse contexto.

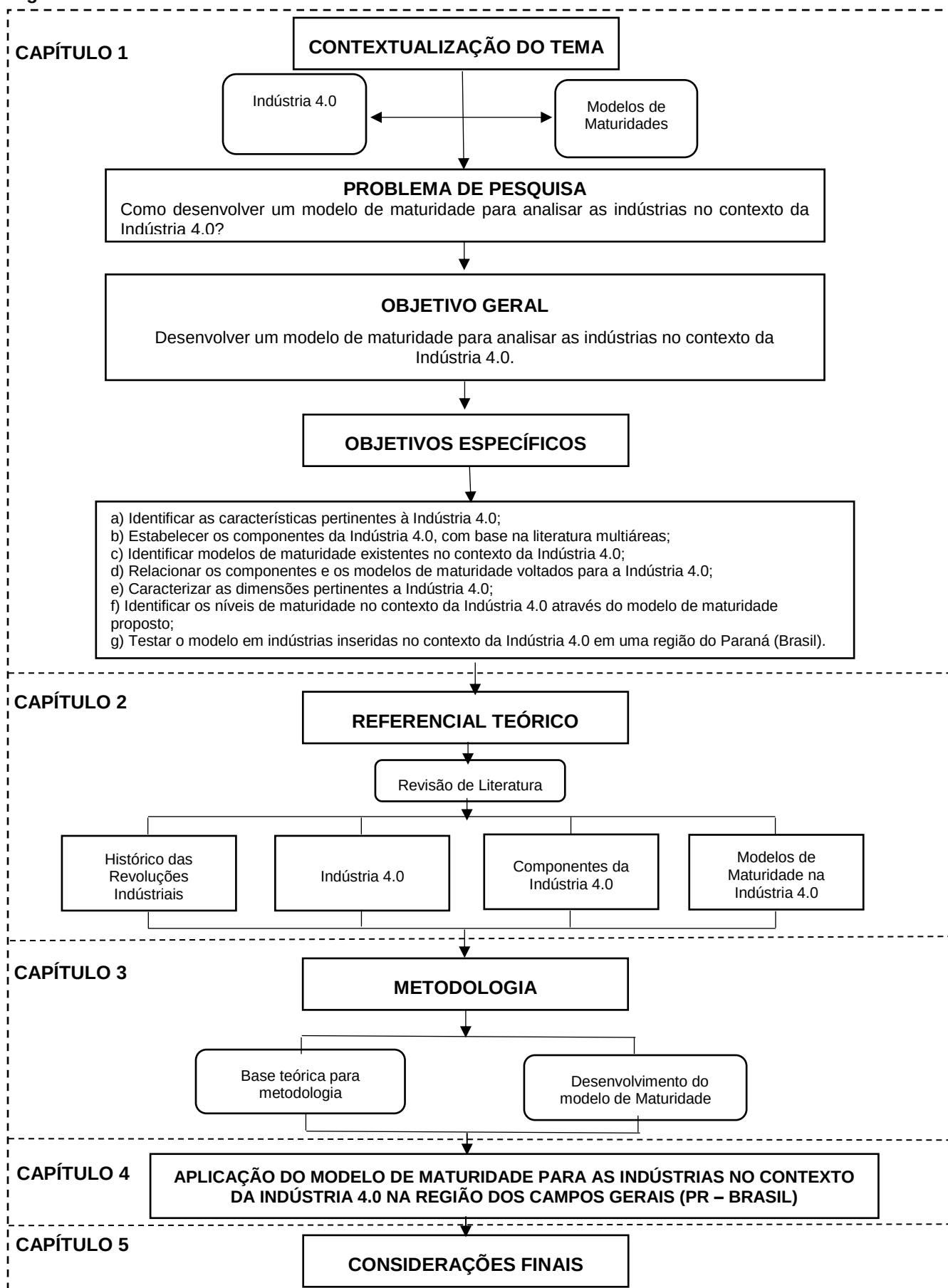
Para a consolidação dos objetivos do trabalho será necessário desenvolver um modelo de maturidade que possa identificar a situação da indústria no contexto da Indústria 4.0 a partir de discussões teóricas e ferramentas necessárias para o desenvolvimento do mesmo. Desta forma, o trabalho realizará uma discussão teórica e prática ao aprofundar conceitos através de artigos desenvolvidos neste contexto (Capítulo 2). Por conseguinte, ao identificar os modelos de maturidade já desenvolvidos neste contexto, serão verificados, estruturados, identificados e analisados suas carências para atender as características e componentes da Indústria 4.0 (Capítulo 2 e 3), para o desenvolvimento do modelo.

Para auxiliar na compreensão no desenvolvimento do modelo serão apresentadas as etapas pertinentes ao desenvolvimento do mesmo, onde serão esclarecidas a forma com que será respondida à pergunta de partida deste trabalho, bem como, a consolidação do objetivo geral. Além disso, serão discutidas a ferramenta para a análise da maturidade nas indústrias do contexto da Indústria 4.0, a partir da escolha exploratória baseada na literatura (Capítulo 3).

1.5 ESTRUTURA

O trabalho está organizado em 5 Capítulos, conforme mostrado na Figura 1. O Capítulo 1 abordará o problema de pesquisa, com os Objetivos Gerais, Específicos, Justificativa, Escopo do Trabalho, Aspectos Metodológicos. O Capítulo 2 apresentará a revisão de literatura sobre o Histórico das Revoluções Industriais, Indústria 4.0, Componentes da Indústria 4.0 e os Modelos de Maturidade na Indústria 4.0. O Capítulo 3 detalhará o procedimento metodológico no desenvolvimento da revisão de literatura, com o desenvolvimento da construção do modelo de maturidade. O Capítulo 4 apresentará os resultados e discussões. Por fim, o Capítulo 5 abordará as considerações finais para esta etapa do trabalho.

Figura 1- Estrutura do trabalho



Fonte: Autoria própria (2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo visa explicar o histórico, conceito e variações do termo Indústria 4.0, além das características e componentes da Indústria 4.0. Em seguida, serão abordados os modelos de maturidade no contexto da Indústria 4.0, além de uma comparação entre os componentes encontrados nos artigos de Indústria 4.0 e nos modelos de maturidade.

2.1 HISTÓRICO DAS REVOLUÇÕES INDÚSTRIAS

Historicamente as revoluções industriais também se voltaram para o aumento da produtividade industrial. Aproximadamente no século XVIII, iniciou-se a Primeira Revolução Industrial no Reino Unido, com o motor a vapor. No início do século XIX, considera-se como a Segunda Revolução Industrial, com o sistema de produção em massa. No final do século XX, deu-se início a Terceira Revolução Industrial onde fomentou o comércio da eletricidade e o desenvolvimento das Tecnologias da Informação e Comunicação - TIC (CHOI et al., 2017; THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017; WOLLSCHLAEGER; SAUTER; JASPERNEITE, 2017; LIU; XU, 2017).

Cada uma das eras passou por um tipo de governança corporativa (ou seja, um decisor que gerencia: processos, produção e distribuição, por exemplo), passando por grandes evoluções, com padrões distintos para cada nação, podendo ser chamada de “sistemas nacionais de governança” (TUNZELMANN, 2003).

De acordo com Tunzelmann (2003), a evolução quanto a governança nas três revoluções foram descritas nos itens abaixo:

- Primeira era: caracterizada pelo “capitalismo individual”, no qual consistia por pequenos produtores e as decisões tomadas eram referentes ao comércio.
- Segunda era: foi dominada por grandes corporações, sendo caracterizada pelo “capitalismo corporativo”, dando início a gestão quanto as decisões tomadas.
- Terceira era: caracterizada pela “*network capitalism*” (capitalismo em rede), onde normalmente as indústrias estão ligadas através do *networked* (conectadas) nos distritos industriais, ou seja, interações entre grandes e pequenas empresas ou até mesmo com as grandes empresas, onde muitas vezes as indústrias possuíam baixa tecnologia.

A Primeira Revolução Industrial estimulou a ocorrência da produção em massa para a Segunda Revolução Industrial, tornando algumas habilidades individuais obsoletas para a evolução. A mudança também foi precursora na administração da empresa, onde gerentes e trabalhadores mudaram de atitude, alterando de “qualidade” para “quantidade” em produzir com grande escala. Esta mudança refletiu no comportamento (orgulho) dos trabalhadores em assumir a responsabilidade pela qualidade de suas atividades de trabalho (KANJI, 1990).

De acordo com Kanji (1990), para compensar o orgulho dos trabalhadores que trabalhavam pela qualidade, as empresas nomearam os inspetores da qualidade, afim de eliminar os defeitos da produção em massa e fornecer aos clientes produtos com qualidade aceitável.

As mudanças quanto à qualidade e quantidade foram estrategicamente contempladas por vários países. No aspecto da qualidade, alguns países escolheram como estratégia a alta qualidade no produto, como por exemplo a França e Itália, já em outros países a estratégia está na qualidade do processo, como a Ásia Ocidental. Para a dimensão quantidade, pode ser citado os EUA, que aderiu a padronização da qualidade, afim de avançar na produção em massa (TUNZELMANN, 2003).

A produção em massa da Segunda Revolução Industrial foi marcada pela gestão da qualidade total, onde a qualidade está na prevenção ao invés da detecção, proposta orientada por Deming (KANJI, 1990).

Já a Terceira Revolução Industrial se caracteriza pelo uso de tecnologia (Internet) e o uso de energias renováveis, mudando a forma de distribuição de energia, além de entrar na era do “Capitalismo Distribuído” onde há mudança na relação entre os vendedores e compradores sendo substituída por uma relação colaborativa entre os clientes e fornecedores, onde o interesse próprio é submisso ao interesse compartilhado (RIFKIN, 2012).

Segundo Rifkin (2012), a Terceira Revolução Industrial é caracterizada em 5 pilares:

- Mudança para a utilização de energia renovável;
- A construção de micro-usinas de energia renováveis locais;
- Armazenamento de energia em edifícios através da implementação de hidrogênio e outras tecnologias de armazenamento;
- Utilizar a Internet para transformar a rede de energia transicional em uma "*energy Internet*" para agir como a Internet (onde milhões de prédios/casas geram uma

pequena quantia de energia renovável local, podendo vender essa energia de volta para a rede ou compartilhar com seus vizinhos);

- Transformar a frota de veículos elétricos plugada em uma célula de combustível que pode comprar e vender a eletricidade verde em uma rede de energia inteligente, continental e interativa.

É possível observar diante deste contexto, que cada revolução industrial é o reflexo da transição de uma evolução, como através da qualidade individual da Primeira Revolução Industrial, a Segunda Revolução Industrial com a produção em massa, utilizando a inspeção da qualidade, e na Terceira Revolução Industrial com utilização de energias renováveis, uso de Internet e a propagação da informação, onde a qualidade se tornou indispensável para esta era.

Já a Quarta Revolução Industrial tornou-se sinônimo da utilização de tecnologias, tais como a integração da informação, uso de eletrônicos, automação e digitalização de processos complexos, tanto nas fábricas quanto em serviços. Segundo Roblek, Meško e Krapež (2016), essa nova revolução impactará diretamente nas pequenas e médias empresas, principalmente ao que refere quanto à flexibilidade, eficiência, custo, inovação, sustentabilidade, tendo em vista que as novas tecnologias estarão sendo utilizadas no dia-a-dia das grandes empresas, como a impressão 3D, crescimento de serviços de venda online através da utilização de aplicativos no celular como por exemplo: carro para prestação de serviço, exames médicos em casa, pedidos de alimentos, entre outros serviços.

As tecnologias TIC foram as precursoras na Terceira Revolução Industrial, mas se tornaram efetivas na Quarta Revolução Industrial, principalmente quanto ao desenvolvimento em termos de *hardware* e *software*. A perspectiva é de que a utilização da TIC na fabricação inteligente aumentará, trazendo novas perspectivas para a indústria que iram ganhar força através da integração das tecnologias. Contudo, a nova produção industrial deverá ter um consumo de energia reduzido, visando a alta flexibilidade e eficiência da produção (CHOI et al., 2017; WANG et al., 2016; POSADA et al., 2015).

Segundo Tunzelmann (2003), as revoluções industriais trazem consigo grandes avanços tecnológicos que estão intimamente ligadas com as inovações em termos tecnológicos e setoriais (uma área diferente da outra). Para resumir o que foi exposto anteriormente, o Quadro 1 apresentará as características das Eras das

Revoluções Industriais (R.I.), destacando a Quarta Revolução Industrial, escopo deste trabalho.

Quadro 1 - Características das eras industriais

REVOLUÇÕES		1ª R. I.	2ª R. I.	3ª R. I.	4ª R. I.
CARACTERÍSTICAS					
1	Datas aproximadas	1750	1870	1973	2011
2	Localização	Reino Unido	Estados Unidos e Alemanha	Estados Unidos	Alemanha
3	Tecnologias	Máquinas	Máquinas a vapor	Tecnologias da Informação e Comunicação	Sistema ciber-físico / Internet of Things
4	(Motivo)	Água, vapor	Eletricidade, óleo	Nuclear, renovável	Renovável otimizada
5	(Material)	Ferro	Aço, plásticos	Silício	Sistema integrado
6	Automatização	Transformação	Transferência	Controle	Digitalizado
7	Comunicação	Telégrafo	Telefone	Internet	Internet em tempo real
8	Meio de transporte	Ferrovárias	Automóveis	Aeronaves	Veículos autônomos
9	Tipo de processo	Artesanal	Produção em Massa	Informação	Adaptável/Personalizado
10	Vantagens	Especializado	Integração Interna	Integração Externa	Integração Interna e Externa
11	Organização	Empreendedora	Multidivisional (várias divisões)	<i>Networked</i>	<i>Networked</i>
12	Estrutura	Competitiva	Capitalista	Capitalismo Distribuído	Capitalismo Distribuído
13	Tipo de Capitalismo	Pessoal	Gerencial	Colaborativa	Colaborativa
14	Modo de Governança	Mercado	Hierárquico	<i>Networks</i>	<i>Networks</i>

Fonte: Adaptado de Tunzelmann (2003); Rifkin (2012); Thoben, Wiesner e Wuest (2017).

No Quadro 1, são apontadas as datas de início aproximadas das revoluções industriais, quadro adaptado de Tunzelmann (2003). A data final para cada revolução é polêmica, uma vez que, segundo os autores Tunzelmann (2003), Rifkin (2012), Thoben, Wiesner e Wuest (2017) as indústrias podem ser contextualizadas a partir de características de revoluções industriais não necessariamente da época mais atual. É o caso da característica 7, comunicação, onde o avanço tecnológico se faz presente quanto no desenvolvimento de cada era, na forma de transmitir as informações (telégrafo / telefone / Internet / Internet em tempo real). Outro avanço relevante é quanto aos meios de transportes item 8, sendo um facilitador para o escoamento da produção, todas estas evoluções impactam diretamente na economia e na melhoria

quanto ao desenvolvimento tecnológico, que influencia os aspectos de produtividade, processo, pessoas (sociedade), indústrias entre outros.

Além disso, na área acadêmica contribui significativamente para o avanço tecnológico, tendo em vista que pesquisadores se dedicam em buscar por pesquisas e inovações através da tecnologia nas áreas de comunicação integrando todas as informações em tempo real, medicina no desenvolvimento de órgãos humanos utilizando a impressão 3D, nos meios de transporte utilizando aplicativos de celular para solicitação de carros, entre outros.

Desta forma, pode se observar que as revoluções estão intimamente ligadas à evolução tecnológica, refletindo nos aspectos econômicos, acadêmicos e sociais, conforme a seção 1.2 do Capítulo 1.

Percebe-se ainda que a análise para cada R. I. anteriormente explanadas envolvem áreas importantes para o desenvolvimento tecnológico na indústria como qualidade e produção, utilizando as demais características expostas no Quadro 1 para estimular a competitividade através destas áreas na indústria.

Para a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 será observado a seguir que outras áreas serão apontadas como responsáveis pelo estímulo à competitividade, enaltecida pela integração de todas as áreas como por exemplo qualidade, produção, logística, sustentabilidade, eficiência energética, planejamento estratégico.

A seção seguinte contextualizará melhor sobre a Indústria 4.0 e seus principais impactos em países de referência neste conceito.

2.2 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 vem atraindo a atenção e o interesse pelo tema por parte dos pesquisadores, órgãos governamentais, fabricantes, desenvolvedores de aplicativos e indústrias no geral, tendo em vista que pode oferecer aos usuários a redução do consumo de energia, aumentar os benefícios econômicos, além de melhorar nos processos de produção (LI et al., 2015).

Segundo Rajnai e Kocsis (2018), as mudanças quanto ao desenvolvimento da Indústria 4.0 estão sendo rápidas e radicais. A partir de 2011, caracterizou-se pelo

surgimento de novas tecnologias e modelos de negócios, sendo reorganizados nas cadeias de valor, tendo como resultado uma competição acirrada entre as indústrias.

O termo Indústria 4.0, pode ser interpretado como uma evolução tecnológica, mas possui como contexto a transformação na estrutura organizacional e na cultura das indústrias (SCHUH et al., 2017).

O diferencial competitivo nas indústrias promove o destaque pelo aprimoramento tecnológico (infraestrutura, linhas de produção automatizadas, robôs, por exemplo) e profissional (treinamentos, capacitação, por exemplo).

Grandes empresas como Siemens, Hitachi, Bosch, Panasonic, Honeywell, Mitsubishi Electric, ABB, Schneider Electric e Emerson Electric investem em projetos relacionados com CPS (*Cyber Physical System*) e IoT (*Internet of Things*), (LIAO et al., 2017).

Há grandes desafios para a indústria atual, tais como a crescente concorrência internacional, variações do mercado, a crescente demanda de produtos personalizados e produtos com ciclo de vida curto. Em contrapartida, há um grande progresso tecnológico sendo desenvolvido, surgindo novas oportunidade de negócios e tendências como a digitalização, IoT, IoS (*Internet of Service*) e CPS que estão se tornando relevantes para o progresso industrial (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

A Alemanha, estrategicamente, foi precursora no setor industrial ao desenvolver iniciativas para se manter e fomentar as produções futuras. O governo alemão anunciou o termo *Industrie 4.0* (Indústria 4.0) em uma feira em Hanôver em 2011, apresentando seu plano estratégico de alcançar a alta tecnologia para 2020 (*“High-Tech Strategy 2020 Action Plan”*). Estabelecendo relação com as “Fábricas Inteligentes”, envolvendo os setores privado, governamental e o acadêmico (KANG et al., 2016; WANG et al., 2016; HOFMANN; RÜSCH, 2017).

As ideias e os efeitos da Indústria 4.0 vem atraindo muitos países por conta desta nova estratégia tecnológica e por promover grandes avanços no desenvolvimento de produtos e processos além de contemplar um novo perfil profissional.

Cada país promove um nome estratégico voltado para sua cultura no contexto da Indústria 4.0, porém com o mesmo significado, avançar tecnologicamente, como por exemplo nos EUA, com o nome de *Industrial Internet* (Internet industrial), *Advanced Manufacturing* (Fabricação Avançada) ou *Smart Manufacturing* (Fábrica

Inteligente), China como *Internet +* e pela França como *Industrie du futur* (WANG et al. 2016; KANG et al. 2016; ABRAMOWICZ; AUER; HEATH, 2016).

O Quadro 2 contextualiza os sinônimos da Indústria 4.0 utilizado por diversos países, a ordem destes países fora classificada de acordo com o que foi encontrado na literatura.

Quadro 2 -Sinônimos da Indústria 4.0 em outros países

Países	Nomenclatura utilizadas para cada país quanto ao conceito Indústria 4.0	Autores
Alemanha	Industrie /I4.0 /Industry 4.0 /Fourth Industrial Revolution	WANG et al. (2016); KANG et al. (2016); LI (2017); BASL (2017); CARUSO (2017); ABRAMOWICZ; AUER; HEATH (2016); MDIC (2017); FIEP (2017); MDIC (2017), HOFMANN E RÜSCH, (2017).
Estados Unidos	Advanced Manufacturing/ Internet Industrial/ Smart Manufacturing/Industry 4.0 /Fourth Industrial Revolution	
China	Internet ++/Industry 4.0 /Fourth Industrial Revolution	
Coreia do Sul	Manufacturing Innovation 3.0/Industry 4.0 /Fourth Industrial Revolution	
França	Industrie du Futur/Industry 4.0 /Fourth Industrial Revolution	
Brasil	Grupo de Trabalho da Indústria 4.0 (GTI 4.0) /Indústria 4.0/ Industry 4.0 /Fourth Industrial Revolution	
Itália	Industry 4.0 /Fourth Industrial Revolution	
Holanda	Industry 4.0 /Fourth Industrial Revolution	

Fonte: Autoria própria (2019).

Nas últimas décadas, a tecnologia evoluiu, trazendo mais interação nos processos produtivos para a indústria, surgindo então o conceito de Indústria 4.0 (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Em 2015, foi apresentado também em Hanôver na Alemanha o framework RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model for Industrie 4.0*) que reuni uma série de normas de padronização nacional e internacional, orientada para serviços com base no ecossistema cibernético abrangendo a cadeia produtiva, dando ao sistema uma linguagem hierárquica, a definição da arquitetura e o gerenciamento de vida da produção (LIMA et al., 2018; VENTURELLI, 2017).

Em 2016, foi desenvolvida na Hungria, uma plataforma nacional com o apoio do governo, a NTP (*National Technology Platform*), que tem objetivo de promover a Indústria 4.0. Esta plataforma lançou uma pesquisa online para avaliar a situação das empresas húngaras quanto a Indústria 4.0 (RAJNAI; KOCSIS, 2018).

De acordo com Basl (2017), um estudo realizado pela empresa de consultoria Infosys e pela Universidade da Alemanha (*Institute for Industrial Management at the University of Aachen*), analisou 400 empresas em países que possui alta

industrialização: China, França, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. Este estudo buscou identificar a maturidade das empresas quanto a Indústria 4.0 e as principais conclusões foram:

- 85% das empresas de manufatura global estão cientes do potencial aumento e a eficiência quanto a implementação de tecnologia.
- Em contrapartida, somente 15% das empresas pesquisadas implementam estratégias para analisar dados em suas máquinas.

Através desta pesquisa, foi possível identificar que as empresas que possuem planejamento de melhorias para os próximos cinco anos, ou seja até 2022 estarão sendo desenvolvidas nas funções de interoperabilidade da informação (capacidade de um sistema se comunicar com o outro), padronização de dados e de análise avançada. Um quinto destas empresas acreditam que irão alcançar o conceito sobre Indústria 4.0 em 2020 (BASL, 2017).

De acordo com os resultados desta pesquisa, foi possível identificar que o principal país que se destaca quanto a inovação é a China com 57%, já a Alemanha está na quarta posição, com 21%. A Alemanha se tornou referência na busca da Indústria 4.0 para os demais países, impactando na economia destes países por buscar estratégias através da implementação de conceitos voltados à tecnologia na Indústria 4.0 (BASL, 2017).

Com relação as tecnologias voltadas a Indústria 4.0 os autores Qin, Liu e Grosvenor (2016), mostram que há diferentes níveis de inteligência na tecnologia (voltadas para a tomada de decisões) e que podem ser classificados de baixa e alta inteligência, sendo nível de controle, nível de integração e nível de inteligência.

- Nível de controle: são utilizados programação computacional, controle lógico programável, probabilidades em estatísticas entre outros substituindo a força de trabalho e a otimização da produção.
- Nível de integração: com base no nível de controle, será utilizado a IoT e CPS para a aplicação da fabricação digital, não conectando apenas *hardware*, mas também possui uma comunicação entre os sistemas. Os dados são coletados através dos sensores das máquinas e nas linhas de produção, onde serão geridos com o recurso de receber informações de fora como *feedback* do cliente e do fornecimento da cadeia.

- **Nível inteligência:** Utiliza-se os dados ou informações do nível integração para criar decisões tecnologicamente inteligente, como a mineração de dados e a *Big Data Analysis*.

Diante do exposto, pode ser observado que a Indústria 4.0 se tornou um objetivo a ser alcançado estrategicamente para as indústrias que precisam permanecer no mercado e para as indústrias que desejam se tornarem competitivas. Além disto, as indústrias devem analisar o alto custo do investimento para a implementação de recursos voltados para a Indústria 4.0.

Para Li e Xu (2017), Leyh et al. (2016), Wang et al. (2016) e Posada et al. (2015), a Indústria 4.0 está integrada com a Integração Vertical, Horizontal e de Ponta-a-Ponta (*end-to-end*) como será descrito:

- **Integração Vertical:** significa o conjunto de sistemas de produção em rede e permite que o CPS seja utilizado para criar sistemas de fabricação flexíveis e a reconfiguração fabril, além disto, com o auxílio CPS integra a produção, sistemas de armazenagem e logística, estabelecendo a integração com o banco de dados (*Big Data*);
- **Integração Horizontal:** é a integração das redes de valor, onde acontecem a troca e o gerenciamento de informações através da tecnologia (informações de diferentes agentes dentro do processo produtivo como por exemplo logística e a cadeia de valor), a integração do fluxo de informação é necessário ao longo da empresa horizontal, assim como além das fronteiras da indústria;
- **Integração Digital Ponta-a-Ponta (*end-to-end*):** refere-se à engenharia em um todo, onde se acompanha as etapas do ciclo de vida do produto (exemplo concepção do produto, fabricação e cliente).

Porém, a situação atual mostra que os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), SCM (*Supply Chain Management*), MIS (*Management Information Systems*), PLM (*Product Lifecycle Management*), SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), armazenam em bases de dados separados e com formatos diferentes (as vezes fornecem a interfaces de dados) ou seja, a padronização destes formatos de dados para a integração neste nível deve ser melhorado para que assim possa atingir os aspectos da Indústria 4.0 (LEYH et al., 2016; JÆGER; HALSE, 2017).

Existe uma grande variedade de tecnologias envolvidas nesta tendência global, tais como: IoT, IoS, automação industrial, conectividade e informações onipresente, ciber-segurança, inteligência robótica, gerenciamento do ciclo de vida do

produto (PLM), tecnologia semântica (análise de informação) e big data industrial. Além de englobar a computação visual, no qual fornece como base para as novas iniciativas, como por exemplo a Alemanha com a Indústria 4.0 (POSADA et al., 2015).

Segundo Stark (2015), o PLM é um sistema que gerencia o ciclo de vida do produto de forma ágil, desde a concepção do produto até a retirada no mercado.

O ciclo de vida inclui: conceito, desenvolvimento, produção, ordem, transporte, reciclagem e serviços associados, ou seja, a integração destes recursos se faz necessário para identificar o ciclo de vida do produto. Este tipo de sistema poderá apoiar os gestores quanto aos dados históricos, podendo ser reutilizado para a projeção de um novo produto, este tipo de sistema se tornará pré-requisito para a Indústria 4.0 (RAJNAI, KOCSIS, 2018; CAROLIS et al., 2017; BANGEMANN et al., 2016).

Esta nova transformação industrial possuirá uma alta variabilidade de produto, com um curto ciclo de vida, o que se justificará em exigir uma produção flexível e ágil, com uma reconfiguração rápida para atender a demanda de um novo produto. O modelo de automatização tradicional não irá conseguir atingir este grau de flexibilidade (WEYER et al., 2015).

2.2.1 Características Gerais da Indústria 4.0

Para elucidar as características da indústria que atende este grau de flexibilidade para o contexto da Indústria 4.0, serão apresentados a visão de Posada et al. (2015), Chu e Hua (2017), Roblek, Meško e Krapež (2016), Marcon et al. (2017), Lu (2017), Li e Xu (2017), Hofmann e Rüsch (2017) e Xu e Rua (2017), onde as características apresentadas são importantes para constituir os componentes da Indústria 4.0.

Com isso, serão contextualizadas algumas características que poderão ser inseridas na Indústria voltadas ao contexto 4.0 (POSADA et al., 2015).

- Produtos manufaturados habilitados com o sistema da tecnologia da informação industrial, onde a produção deverá se adaptar por lotes menores, atendendo as necessidades individuais do cliente;
- Produção com adaptação automática e flexível para eventos inesperados, como por exemplo: falha na linha de produção;

- Rastreabilidade, auto reconhecimento e comunicação com as peças, produtos e as máquinas;
- Aprimoramento da interação homem-máquina, incluindo a coexistência de robôs ou nova forma de integração e operação das fábricas inteligentes;
- Utilização da IoT para a otimização da produção, obtendo comunicação com as fábricas inteligentes;
- Novos modelos de serviços e negócios para a integração da mudança na cadeia de valor.

Chu e Hua (2017), complementam essas características novas apresentando para o ambiente da Indústria 4.0:

- Altamente correlacionado: ambiente de rede com dispositivos de fabricação/detecção/montagem, sistema de armazenamento, sistema de transmissão, terminais de servidor e vigilância, todos interconectados através de múltiplas redes de cabos e sem fio em tempo real/não real para trocar informações/dados entre si;
- Profunda integração: ligação entre o sistema físico inteligente (assunto que será abordado na seção 2.3.1) com a plataforma em nuvem. Há várias informações disponíveis em tempo real, formando big data industrial, podendo ser executada simultaneamente através da *big data analysis* (analisa a grande volume de dados) na fábrica inteligente, quebrando barreiras de informações em cada processo, integrando o ambiente físico e o ambiente de informações, sendo chamado de sistema ciber-físico;
- Reconfiguração dinâmica: para atender uma demanda de múltiplos-tipos de produtos e de pequenos lotes, é necessário determinar os requisitos dos dispositivos, estado de saúde do equipamento e o tipo de peça. Caso ocorra a alteração de algum dispositivo, as reconfigurações do sistema serão automaticamente alteradas e sincronizadas;
- Grande volume de dados: a fábrica inteligente precisa atender a pequenos lotes e com a personalização dos produtos. Cada tipo de produto inteligente apresenta em tempo real: status do equipamento, status do processo de fabricação e as informações sobre o produto, gerando uma grande quantidade de dados.

Roblek, Meško e Krapež (2016) e Marcon et al. (2017), afirmam que a Indústria 4.0 ainda está em processo de transformação e é representada pelas seguintes características:

- Digitalização da Produção e Serviços - Utilização de sistemas da informação para o planejamento de produção e gestão;
- Automação - Sistemas para coleta de dados em linhas de produção e a utilização de máquinas;
- Atualização da fabricação com a cadeia de suprimentos - Troca de informações automática;
- Relação comercial simples e complexa;
- Novos modelos de negócios.

A Fábrica Inteligente ou Indústria 4.0, além de utilizar recursos como a plataforma em nuvem e coleta de dados através do *Big Data* e *Big Data Analysis*, poderá utilizar estes recursos também para a inovação dentro de um processo, como por exemplo manutenção preventiva ativa, otimização de linha de produção e otimização do consumo de energia isto será possível através do histórico de dados armazenados no Big Data (WAN et al., 2017).

De acordo com Lu (2017), na Indústria 4.0 dois fatores se sobressaem: primeiro é a integração e o segundo a interoperabilidade. A Integração é a troca de informações, como explanado anteriormente. A interoperabilidade é a capacidade de dois sistemas entenderem de forma inteligente e usarem a funcionalidade um do outro, compartilhando informações.

Com isso, este novo modelo de indústria inteligente dará a oportunidade para novas plataformas CPS sendo apoiadas aos processos industriais colaborativos e redes de negócios associados (LI; XU, 2017). Neste sentido, a Indústria 4.0 trará novas oportunidades com o auxílio do CPS e do IoT resultando em uma produção em massa altamente flexível, gestão e coordenação em tempo real. Na logística, permitirá o rastreo e manuseio com qualidade sem perda de tempo, otimização da cadeia de valor, redução de custos complexos e ainda, o surgimento de novos modelos de negócios e serviços (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

A Indústria 4.0 de forma disruptiva torna a indústria autossuficiente. Na fabricação de produtos mostra eficiência quanto aos produtos personalizados, atendendo às novas configurações sobre os equipamentos e a linha de produção, tais

como dispositivo para falha, sistema de manufatura, otimização e reconfiguração do sistema (XU; RUA, 2017).

Os reflexos da Indústria 4.0 em outros países serão discutidos nas Seções a seguir, a ordem destes países fora classificada de acordo com o nível de importância na literatura, ou seja, os que apareceram através da revisão da literatura.

2.2.2 Características da Indústria 4.0 na Alemanha

A Alemanha foi precursora no setor estratégico industrial ao desenvolver iniciativas para se manter e fomentar as produções futuras. O governo alemão anunciou o termo Indústria 4.0 em uma feira em Hanôver em 2011, estabelecendo relação com as “Fábricas Inteligentes”, envolvendo o setor privado, o governo e o setor acadêmico (KANG et al., 2016; HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Segundo IEDI (2018), a ACATECH - Academia Nacional Alemã de Ciência e Engenharia foi líder no desenvolvimento de programa para CPS identificando quatro campos para a aplicação do CPS tais como: Energia (*smart grids*); Mobilidade (mobilidade urbana); Saúde (diagnósticos remotos); Indústria de Transformação (Indústria e produção com sistemas inteligentes).

Além de ser a precursora, a Alemanha é um país competitivo industrialmente no quesito da manufatura mundial. Para se manter competitivo, o Governo Alemão estabeleceu o programa I4.0 chamado também de Plano de Ação da Estratégia Alta Tecnologia 2020, no qual tem como objetivo se tornar líder no fornecimento de CPS, onde o mesmo disponibilizará informações relevantes em tempo real, permitindo atender aos requisitos do cliente sem nenhum desperdício (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Os autores Thoben, Wiesner e Wuest (2017) e Kang et al. (2016), apontam que a I4.0 aborda oito áreas que apoiam os princípios da indústria, tais como:

- Padronização e arquitetura de referência: parcerias colaborativas de organizações em redes de valor exigem um conjunto de padrões comuns em uma arquitetura de referência;
- Gerenciando sistemas complexos: a maior complexidade de sistemas e produtos requer modelos apropriados para a sua gestão;

- Uma infraestrutura de banda larga abrangente para o setor: pelo fato de a IoT exigir uma infraestrutura de rede de comunicação confiável e rápida;
- Segurança e proteção: relacionado a interação homem-máquina, os sistemas de manufatura devem não prejudicar as pessoas ou o meio ambiente. Além disso, dados e informações requerem autorização de acesso e medidas de privacidade;
- Organização e design de trabalho: juntamente com as máquinas, o ambiente e os processos de trabalho mudam também, dando ao empregado maior liberdade e responsabilidade;
- Formação e desenvolvimento profissional contínuo: em relação ao item anterior, o profissional precisa ser qualificado através de treinamento adequado e contínuo;
- Quadro regulamentar: juntamente com a organização, mudanças quanto a legislação deve ser levada em conta, particularmente para os regulamentos de privacidade e responsabilidade;
- Eficiência de recursos: melhorando a produtividade e a eficiência dos recursos, a matéria-prima e o consumo de energia devem ser reduzidos.

A perspectiva é de que haja um crescimento quanto a implantação da Indústria 4.0 nas áreas de química, manufatura, TIC e agricultura até 2020 (BASL, 2017).

2.2.3 Características da Indústria 4.0 nos Estados Unidos

O governo dos Estados Unidos da América (EUA), iniciou as discussões sobre os avanços da manufatura sobre a Indústria 4.0 em 2011, chamado de “*Advanced Manufacturing Partnership (AMP)*” (LIAO et al., 2017).

Para os autores Kang et al. (2016), os EUA são ativos em relação à pesquisa orçamentária e no desenvolvimento de programas voltados para a Indústria 4.0 ou como conhecida nos EUA, *Smart Manufacturing* e *Internet Industrial*, investindo uma alta tecnologia para expandir a manufatura.

De acordo com um relatório do governo dos EUA de 2016, a automatização industrial tornara a economia mais eficiente, além disso uma recente análise em 12 países desenvolvidos incluindo os EUA, mostra que a inteligência artificial tem o potencial de dobrar as taxas anuais quanto ao crescimento econômico até 2035 (BASL, 2017).

O objetivo destes programas de pesquisa e de desenvolvimento de tecnologias, é de avançar estrategicamente, e para isto, inclui investimento em IoT, *Big Data*, *Big Data Analysis*, CPS, integração de sistemas, fabricação sustentável e fabricação aditivada (fabricação em 3D), para atender a melhoria e inovação na fabricação, chamada de Quarta Revolução Industrial.

2.2.4 Características da Indústria 4.0 na China

Nos últimos anos, a China vem se desenvolvendo e revolucionando tecnologicamente em resposta a alta tecnologia proposta pela Alemanha com a “*Industry 4.0*”. O plano estratégico chamado “*Made -in- China 2025*” tem como objetivo tornar a China consolidada com relação a fabricação e a inovação de produtos e serviços, criando marcas próprias e construindo uma fabricação sólida através do desenvolvimento de tecnologias de ponta (LI, 2017).

O governo chinês afirma que o país está potencializando através de investimento a implementação dos conceitos da Quarta Revolução Industrial nas indústrias nacionais (BASL, 2017). O Quadro 3 apresenta as características da evolução na China.

Quadro 3 - Características da evolução da China referente aos anos

Anos	Características
Século XVIII	Iniciou com a revolução industrial as transformações sobre fabricação industrial.
2012	Tornou-se líder global em operações de fabricação além de ser considerada a segunda maior potência econômica do mundo.
2014	Produziu 286,2 milhões de computadores pessoais, representando 90% do total mundial entre outros produtos.
2015	Emissão de um plano nacional para atingir ao longo de 10 anos “ <i>Made-in-China 2025</i> ”.

Fonte: Adaptado Li (2017).

O plano estratégico “*Made-in-China 2025*”, representa as perspectivas e prospecções da China para atingir os níveis de produção mundial, na fabricação de produtos com uma alta qualidade e tecnologia, tornando-se mais competitiva reinventando na produção e investindo tecnologicamente na cadeia de valor (LI, 2017; IEDI, 2018).

Segundo IEDI (2018), o governo da China está estrategicamente voltado à inovação, principalmente em:

[...] voos espaciais tripulados, os submersíveis tripulados de água profunda, o trem de alta velocidade, lançamento do sistema de satélites de navegação, supercomputador mais rápido do mundo, a construção de trilhos de alta velocidade e a instalação de equipamentos de perfuração de petróleo [...] (IEDI, 2018)

Todos estes progressos são resultantes de um alto investimento de educação, pesquisa e infraestrutura.

De acordo com Li (2017), este plano promove “três fases” que guiarão a China rumo a uma potência mundial, concentrando em melhorar a qualidade do produto fabricado, criando marcas próprias, desenvolvendo tecnologias avançadas, pesquisas por novos materiais, peças e componentes.

A primeira fase do plano (2015-2025) a promoção do país na lista de países produtores mundiais de energia. Na segunda fase (2026-2036) a China pretende subir para o nível médio, na fabricação mundial. Já na terceira fase (2036-2046), a China pretende em se tornar uma potência líder na fabricação mundial (LI, 2017).

Segundo o Conselho de Estado da República Popular da China (2017), planeja-se desenvolver a inovação e a pesquisa, construindo uma manufatura verde e a integração inteligente das informações. Dez setores se destacam nesta diretriz, tais como tecnologia da informação; maquinário e automação de controle numérico de ponta; equipamentos aeroespaciais e de aviação; equipamentos de engenharia marítima e fabricação de embarcações de alta tecnologia; equipamentos ferroviários; veículos de economia de energia; equipamentos elétricos; biomedicina; aparelhos médicos de alto desempenho e equipamentos agrícolas.

2.2.5 Características da Indústria 4.0 na Coreia do Sul

De acordo com Kang et al. (2016), a Coreia do Sul também está buscando o desenvolvimento de tecnologias semelhantes à Alemanha com relação a Indústria 4.0 e dos EUA com relação a Fábrica Inteligente. Foi anunciado um plano estratégico chamado de “*Manufacturing Innovation 3.0*” (Inovação de Fabricação 3.0), nome dado em 2014 pela MOTIE (*Ministry of Trade, Industry and Energy*).

Segundo portal Export.Gov (2018), o governo da Coreia do Sul estabeleceu planos para *Manufacturing Innovation 3.0*, contemplando várias áreas com projetos em Pesquisa e Desenvolvimento, principalmente em plataformas IoT, integração de *software*, coleta de dados, *smart sensors* e processamento de dados industriais.

As estratégias se configuram principalmente em expandir as fábricas inteligentes, representar uma nova indústria criativa, promovendo a inovação da fabricação inteligente local, reorganizar as empresas, fortalecer os recursos das principais indústrias, melhorar a base da inovação além de promover a expansão no exterior (KANG et al., 2016).

2.2.6 Características da Indústria 4.0 no Brasil

De acordo com Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços - MDIC (2017), foi criado no Brasil, o Grupo de Trabalho da Indústria 4.0 (GTI 4.0), propondo uma estratégia de impacto na indústria nacional, contribuindo para a elaboração de propostas políticas que fomentam o desenvolvimento das Indústrias 4.0.

Segundo uma pesquisa realizada pela Fiesp (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) em parceria com Senai de São Paulo, 227 indústrias participaram desta pesquisa onde o principal desafio era identificar o nível de conhecimento das mesmas quanto a Indústria 4.0 (FIESP, 2018).

Segundo a Fiesp (2018), a análise desta pesquisa sobre Indústria 4.0 foram de que: 68% já ouviram falar; 90% concordam que “aumentará a produtividade”; 67% esperam um impacto mediano quanto a implementação; 30% estão “muito otimistas” quanto a implementação na própria indústria e 17% estão “muito otimistas” quanto a implementação no setor de atuação da indústria; 23% estão “nem um pouco preparadas”, enquanto 5% estão “muito preparadas” para enfrentar os novos desafios da Indústria 4.0.

De acordo com Coelho (2018), as discussões sobre Indústria 4.0 no Brasil chegaram tarde quando comparado com outros países que iniciaram as discussões em 2011. Isto ocorreu em função da crise econômica (FIEP, 2018).

É possível observar através da revisão de literatura que os países onde os autores mais abordam esse tema são: Alemanha, Estados Unidos, China, Coreia do Sul. Ou seja, estes países estão recebendo mais incentivos pelas partes interessadas no seu desenvolvimento (governamental, industrial e acadêmica). Mesmo que outros países já possuam uma denominação específica para se referirem a Indústria 4.0,

como mostrado no Quadro 2, ainda estão na fase inicial quanto ao entendimento sobre o conceito e as estratégias da Indústria 4.0.

Mesmo o Brasil não despontando como referência de Indústria 4.0 na literatura específica sobre o tema, faz-se importante explanar sobre as características do mesmo no Brasil, uma vez que o objetivo do trabalho será consolidado neste país e se faz necessário o entendimento sobre o contexto do tema no país.

As características expostas anteriormente auxiliarão para a construção do conceito de Indústria 4.0 para este trabalho que será apresentada na seção 2.3.9. Além disso, as características apresentadas auxiliarão no entendimento dos componentes da indústria 4.0.

Sendo assim, a partir das reflexões sobre as características da Indústria 4.0 explanadas nesta seção, faz-se necessário agrupar os principais componentes que caracterizam a indústria 4.0 de acordo com a literatura, bem como a necessidade de estabelecer novos componentes a partir de pesquisas, como será mostrado no Capítulo 3.

2.3 COMPONENTES DA INDÚSTRIA 4.0

Nesta seção serão abordados os principais componentes da Indústria 4.0, tendo em vista que esse contexto envolve diversas áreas do conhecimento tecnológico, sendo de extrema importância para a realidade das indústrias inteligentes. Esta seção será importante para a consolidação dos objetivos deste trabalho e será citado no Quadro 8 do Capítulo 3, onde estão descritos os principais componentes a serem mensurados para desenvolver o questionário para analisar a maturidade das indústrias.

2.3.1 Cyber Physical System (CPS)

A Indústria 4.0 tornou-se conhecida devido ao desenvolvimento CPS, que envolve recursos como a *Big Data*, computação em nuvem e a utilização de redes sem fio nas indústrias (WAN et al., 2017).

De acordo com Preuveneers e Ilie-Zudor (2017), a Quarta Revolução Industrial, sinônimo da Indústria 4.0, é fundamentada com os CPS, que tem como

papel fundamental monitorar, analisar e automatizar os processos industriais, sendo uma transformação para a produção e os processos logísticos.

Os principais recursos que compõem este sistema são a *Big Data* industrial, que requer a captação destes dados para analisar e armazenar no sistema em nuvem. Além disso, há uma variedade de tecnologia instalados na produção, tais como a simulação, holograma, a interação da realidade aumentada (*AR- Augmented Reality*) e a realidade virtual (*VR - Virtual Reality*), fabricação aditiva ou 3D (auxilia na otimização de tempo e redução de custo para a fabricação dos produtos) e robôs (LI; XU, 2017; KANG et al., 2016).

De acordo com Wan et al. (2017), os veículos automaticamente guiados (*Automated Guided Vehicles - AGVs*) tem chamado atenção por sua automatização e pelo seu baixo custo. Os AGVs se baseiam em uma localização a laser em ambientes industriais, facilitando a mobilidade, satisfazendo aos requisitos quanto ao serviço e para a tomada de decisões, sendo integrado ao sistema em nuvem.

Neste contexto de produção, estão sendo desenvolvidos uma fabricação sustentável, afim de aumentar a eficiência dos recursos e a redução dos resíduos através de um planejamento verde, com a utilização de recursos ecologicamente corretos e com a otimização de processos (KANG et al., 2016).

Segundo Wang et al. (2016) e Thoben, Wiesner e Wuest, (2017), o CPS é um sistema emergente, tornando-se uma grande oportunidade na implementação fabril. Tal sistema possui tecnologias emergentes tais como a IoT, redes de sensores sem fio, Big Data, computação em nuvem, sistemas embarcados (que realiza um conjunto de tarefas pré-definidas) e Internet móvel, possibilitando a interação com homem-máquina.

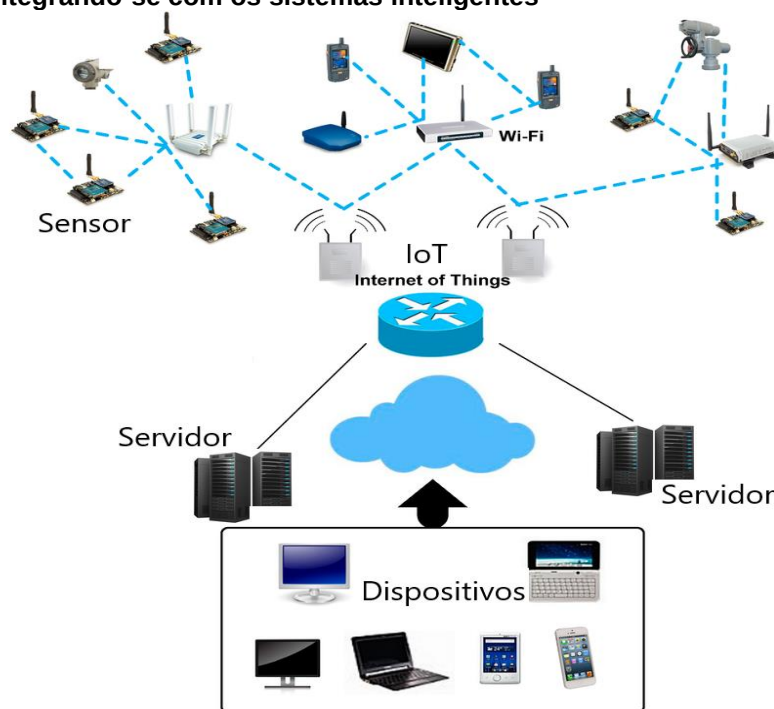
Segundo Posada et al. (2015) e Kang et al. (2016), o CPS é caracterizado por possuir máquinas inteligentes, sistema de armazenagem e um sistema de produção que possuem trocas de informações de forma autônoma e inteligente. Trata-se de entidades computacionais que possuem uma conexão intensa com o mundo físico, fornecendo em tempo real os dados via Internet referentes aos serviços, processos e a produção em massa, tendo como uma das principais vantagens a eficiência e a flexibilidade na agilidade de tomar decisões.

O CPS será aplicado principalmente em setores críticos, onde exigem mais atenção, ou seja, onde qualquer falha pode colocar em risco a integridade física, como por exemplo na aeronáutica, automóveis, medicina, usinas nucleares, além de ser

aplicado em ambientes de fabricação, onde exige a automação e robôs (RIEL A et al., 2017). É possível deduzir que estes recursos serão replicados em outros setores/segmentos, pois a vantagem é visível, além de proporcionar uma contribuição para a sociedade de forma geral.

Além disso, um dos recursos do CPS é o monitoramento dos processos, criando uma cópia virtual do mundo físico, possibilitando a tomada de decisões descentralizada, com intermédio da IoT, que facilita a comunicação e a cooperação entre máquinas e com os cooperadores em tempo real (LI; XU, 2017). A Figura 2, representa o CPS integrando com sistema inteligente.

Figura 2 - CPS integrando-se com os sistemas inteligentes



Fonte: Adaptado Ali et al. (2015).

Através do controle e a integração dos sistemas, o CPS contribuirá para a formação das Cidades Inteligentes (*Smart City*), Fábricas Inteligentes (*Smart Manufacturing*), Rede Elétrica Inteligente (*Smart Grids*), Edifícios Inteligentes (*Smart Buildings*) e Casas Inteligentes (*Smart Homes*) (JIRKOVSKÝ et al., 2016).

Neste contexto de CPS, a análise visual é fundamental para a Indústria 4.0 no sistema CPS, pois se faz necessário a exploração visual para a resolução de problemas, otimizando tempo para a tomada de decisão.

Xu et. al., (2017), relatam a implementação do ViDX (*Visual Diagnostics of Assembly Line Performance*), que é um sistema de análise visual abrangente, de

grande relevância para este novo modelo de indústria. Ele suporta rastrear em tempo real o desempenho da linha de produção e ainda explora o histórico do banco de dados, identificando anomalias, além de formular hipóteses sobre causa e efeitos sobre os mesmos.

Mosterman e Zander (2015), identificaram grandes desafios a serem enfrentados, como o controle colaborativo, interação de recursos, estrutura física automatizada combinada com segurança da análise de dados.

Segundo Schluga et al. (2018), um aspecto relevante é a segurança das operações onde as mesmas devem ser repetitivas, confiáveis e executais. Sendo necessário a mensuração para a avaliação do estado atual do ambiente.

Desta forma, a implementação dessas tecnologias que compõem o CPS na Indústria 4.0, tornam-se um grande desafio no cenário atual das indústrias. Em contrapartida, a indústria que investir no desenvolvimento tecnológico se manterá competitiva no mercado.

2.3.2 Internet of Things (IoT)

Como foi descrito na seção anterior, um dos recursos utilizados no CPS é a IoT, sendo de extrema relevância para a composição da Indústria 4.0.

De acordo com Hofmann e Rüsch (2017), a IoT também nomeada de Internet das Coisas, tornou-se conhecida na primeira década do século XXI, tendo como oportunidade a expansão para diversas funcionalidades e pode ser considerada a precursora da Indústria 4.0.

A IoT é contemplada por sensores, *digital twin* (refere-se a um clone digital de ativos físicos (*hardware*), processos e sistemas que podem ser usados para diversos fins), *software* e a comunicação entre as máquinas (M2M - *Machine to Machine*) e as linhas de produção, permitindo-a coleta e a troca de dados através dos sensores inteligentes, além de ser habilitado a analisar os dados com a integração do CPS e *Cloud Manufacturing* (CM) (KANG et al., 2016; WEBER et al., 2017).

Possui também a capacidade de obter em tempo real as informações através dos sensores e objetos, além de ter a capacidade de detectar falhas e acionar a manutenção. Após a leitura das informações, encaminha com segurança as

informações para a nuvem, sendo atualizada em tempo real com parâmetros de um sistema de circuito fechado (WAN et al., 2016).

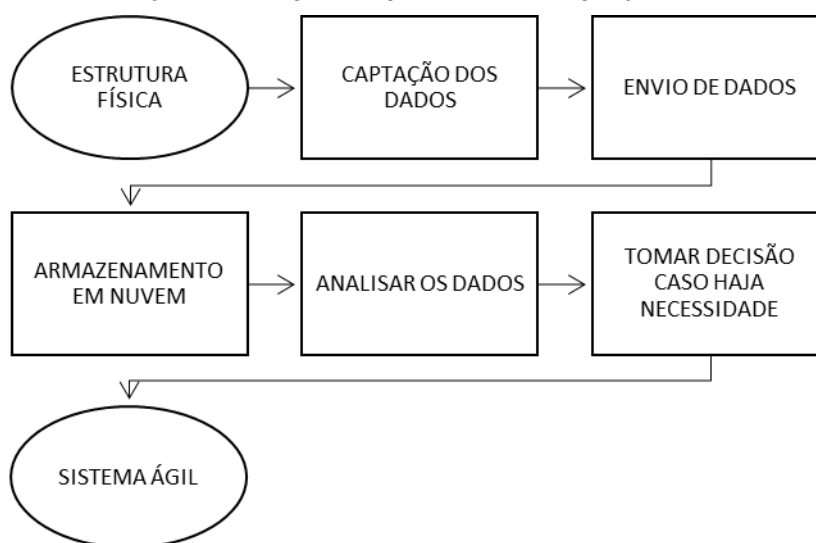
Segundo Wan et al. (2016), a implementação da IoT nas indústrias modernas, possui alguns desafios a serem explorados tais como:

- A busca de um novo método para configurar todos os tipos de rede, tendo em vista que o meio tradicional, é atualizar os protocolos um a um;
- Um software que capture, analise e utilize todos as informações de forma clara e precisa. Segundo o estudo, já existe um *software* emergente chamado *Software-Defined Networks* (SFN) tornando viável a implementação do mesmo.

Os sistemas tradicionais para configurar a rede não possuem agilidade, flexibilidade e não atendem uma demanda personalizada, além de possuir um elevado consumo de energia, quando comparado com o software emergente SFN (WAN et al., 2016).

A IoT funcionará basicamente da seguinte forma, como mostra a Figura 3:

Figura 3 - Descrição das etapas do processo de captação de dados da IoT



Fonte: Autoria própria (2019).

A estrutura física é representada como máquina/objeto, faz a captação de dados podendo ser através de sensores/software. Após isso, será enviado os dados para o armazenamento das informações que ficará disponível em nuvem, e os dados serão analisados para que nenhuma ação seja tomada antes mesmo de ser verificada. Em seguida a tomada de decisão é realizada após a verificação dos dados e caso

haja a necessidade, a tomada de decisão será tomada, tornando o processo ágil e eficaz.

A tomada de decisão neste caso será descentralizada, ou seja, sem a necessidade de um gestor. Tradicionalmente, caso haja algum problema na linha de produção, é necessário a tomada de decisão do gestor, a situação atual da Quarta Revolução Industrial para os componentes da IoT é que as máquinas comunicam entre si, caso os sensores detectam alguma anomalia, as máquinas são ajustadas em questão de segundos.

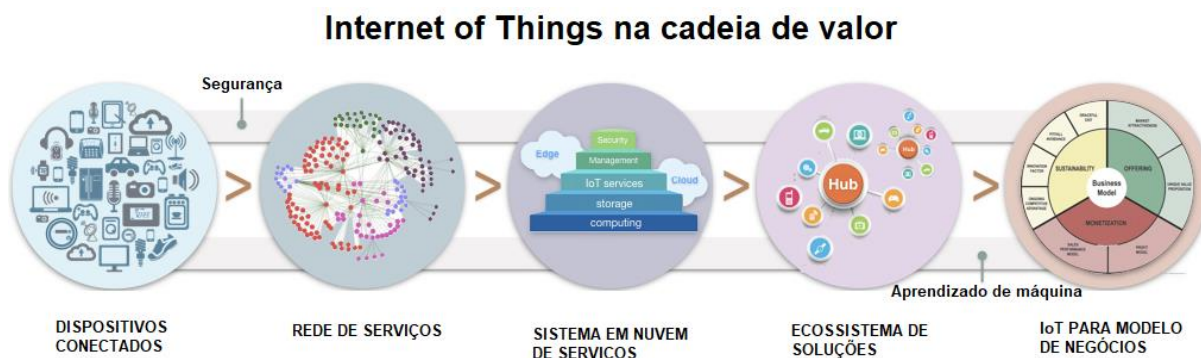
Além disso, para auxiliar a IoT existem os conceitos de *gateway* e mediador, que são recursos técnicos necessários para a captação de dados via *wireless*. Para Bangemann et. al. (2016), estes recursos são utilizados para conectar diferentes interfaces entre si e para mapear protocolos na rede, processando informações (indicadores de desempenho, por exemplo).

Uma rede sem fio (*wireless*) possui uma grande quantidade de sensores, onde os mesmos têm a função de medir algum parâmetro específico, como por exemplo temperatura ou monitoramento do ambiente (BANGEMANN et. al., 2016; LI et al., 2015). No entanto, sabe-se que para tornar viável a Indústria 4.0 necessita-se de Internet para se ter acesso à informação em tempo real. Neste sentido a rede sem fio se destaca neste momento atual por ser flexível e móvel, não contendo fiação.

Os requisitos para a geração de redes móveis 5G, incluem rede e nuvem. Quanto à rede, os requisitos são a alta flexibilidade, baixa latência (baixo atraso na comunicação) e alta capacidade de suporte. Além disso, há uma previsão de crescimento de 1000 vezes no tráfego de dados móveis, com um atraso quase insignificante. Para o controle/gerenciamento da rede 5G, são necessários serviços de conectividade *End-to-End* (E2E), que distribuem acesso heterogêneo (acesso fixo, Wi-Fi, satélite entre outros meios), para quaisquer usuários com a infraestrutura em nuvem (MUÑOZ et al., 2016).

Em relação aos requisitos de nuvem, requerem uma infraestrutura em nuvem, armazenando e processando os dados que são gerados por bilhões de conexões de dispositivos inteligentes, como monitoramento de temperatura, medição de distância e o consumo de energia, por exemplo (MUÑOZ et al., 2016). Na Figura 4 representa como funcionará a IoT na cadeia de valor.

Figura 4 - Representação da IoT na cadeia de valor



Fonte: Adaptado de Hinchcliffe (2017).

Para Wollschlaeger, Sauter e Jasperneite (2017), a rede 5G terá um papel fundamental para a transformação digital. A infraestrutura da rede será o recurso de apoio para a Quarta Revolução Industrial, a comunicação neste meio deverá ser confiável para atender uma ampla área.

Espera-se que a emergente rede 5G forneça baixa latência (baixo atraso), resiliência, cobertura e banda larga, além de possuir o desafio de fornecer uma rede que atenda de ponta a ponta, disponibilizando rede para o sistema em nuvem sobre a mesma infraestrutura física, assim como banda larga móvel em paralelo. Esta rede precisa integrar diferentes tecnologias como rede móvel (sem fio), com fio, satélite e fibra ótica além de auxiliar a IoT e CPS (WOLLSCHLAEEGER; SAUTER; JASPERNEITE, 2017).

Há algumas características particulares entre a rede sem fio industrial (*Industrial Wireless Networks* - IWNs) para a rede sem fio tradicional (*Wireless networks* - WNs). De acordo Li et al. (2015), as principais diferenças entre a IWNs para a WNs são:

- A latência para IWNs onde são adotados parâmetros importantes, como o monitoramento do status da máquina no ambiente de trabalho e de informações em tempo real. Em contrapartida, as WNs se restringem pela energia, pelo domínio dos sensores sem acesso, e pela dificuldade na substituição ou para a renovação das baterias.
- No contexto da Indústria 4.0, deve-se ter uma grande flexibilidade quanto a mobilidade e os IWNs podem conter mais sensores em movimento, como mobilidade em produtos, robôs, veículos guiados automaticamente, veículos

aéreos não tripulados, trabalhadores, entre outros dispositivos móveis. Já para WNs, considera-se estacionário ou com poucos nós em movimento sendo limitado;

- No ambiente operacional, IWNs se destaca por se adaptar melhor em qualquer ambiente como por exemplo poeira, vibração e calor, além disso IWNs não possui interferência de sinal como ocorre no modelo tradicional WNs. Pode-se observar que IWNs garantem confiabilidade e comunicação eficiente;
- Através dos nós do WNs pode-se concluir tarefas operacionais e cooperar com outros equipamentos tendo em vista que se “comunicam” entre seus vizinhos para concluir tarefas mecânicas como puxar, prender e soltar. Para as IWNs, os sensores terão que lidar com processos complexos tais como processamento de dados, energia e armazenamento, sendo mais inteligente que o os sensores tradicionais.

Para ilustrar as indústrias que utilizam a IoT o site Enterprise Management 360 (2018) lista 10 grandes empresas que a utilizam, tais como: General Eletric (GE) titulado como GE Digital - Predix; Siemens com a plataforma MindSphere; Schneider Electric com a plataforma WonderWare; SAP com a plataforma Hana; Bosch com a plataforma IoT Suite; Kuka com a plataforma Connyun; Fanuc com a plataforma Field; ABB com a plataforma Ability; Honeywell com a plataforma Connected Performance Services; Cisco com a plataforma IoT System.

A IoT também possibilita a orientação para a modelagem Ontológica (modelo cooperativo e de múltiplos assuntos surgido da filosofia como “Ontologia”), e fornece novos ângulos visuais para a realização de detecção de alarme, alocação de linhas de produção e otimização de performance, através de sensores (XU; HUA, 2017).

Além disso, as tecnologias e os conceitos sobre a IoT na automação crescerão significativamente, e quando se diz respeito as tecnologias, deverão ser avaliadas e adaptadas conforme a necessidade da automação industrial (WOLLSCHLAEGER; SAUTER; JASPERNEITE, 2017).

2.3.2.1 Impacto da IoT

Percebe-se que a IoT impacta no cotidiano das pessoas, tendo em vista que a partir de 2015, mostrou-se que 12,6 bilhões de dispositivos estejam conectados, incluindo pessoas, processos, dados, smartphones, tablets, laptop, desktop,

impressoras, carros entre outros. Além disso, há uma previsão de que esse número aumente para 25 milhões de dispositivos conectados em 2020 (MIRANDA et al., 2015). Desta forma, pode-se observar que a IoT está possibilitando a abertura de caminho para a integração de outras tecnologias principalmente das atividades humanas em relação aos sistemas de comunicação como IoP (*Internet of Persons*) e IoS (*Internet of Service*) (MARCON et al., 2017).

Segundo Conti, Passarella e Das (2017), a IoP é um ambiente de rede no qual os usuários (pessoas) estão ligados aos seus afazeres via Internet, através da combinação da tecnologia IoT. Os usuários estão conectados a uma vasta quantidade de dados, que a princípio podem ser acessados a qualquer momento. Esta é uma rede que se caracteriza como descentralizada, ou seja, não necessita de um provedor para prover informações para todos os dispositivos. Trata-se de uma rede P2P - *Perr to perr* (ponto a ponto), onde cada dispositivo assume a função de um servidor. Dessa forma, todos os dispositivos que estão dentro da rede IoP pode se comunicar diretamente uns com os outros. A IoP é um assunto abrangente e promissor, pesquisas em torno desse tema ainda estão em fase inicial dando-se margem para trabalhos acadêmicos e pesquisas práticas relevantes.

Com este novo conceito industrial, surge também semelhante a IoT, uma Internet voltada a serviços a IoS (*Internet of Service*), com base na disponibilidade de serviços/produtos através da tecnologia web, que permite aos usuários combinar, criar e oferecer novos tipos de serviços com valor agregado (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Este novo modelo de serviço desempenhará um papel fundamental para as futuras indústrias sendo um facilitador, acelerador e acessível para o usuário (cliente e vendedor), além de conciliar com novo modelo *marketing* 4.0 chamado de KM 4.0.

Para conduzir novas estratégias, o marketing terá um papel relevante na Indústria 4. Este novo modelo chamado KM 4.0, permitirá um marketing de maior precisão, obtendo conteúdo de maior relevância, valor e interação em tempo real com o cliente. O objetivo será alcançar os novos e permanecer com os antigos clientes (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

Para Roblek, Meško e Krapež (2016), através da integração das tecnologias CPS (*Cyber Physical System*), IoT (*Internet of Things*) e o IoS (*Internet of Service*), desencadeou-se mudanças no comportamento dos consumidores tais como produtos personalizados, empresas com contato direto com o cliente, prestação de serviço por aplicativo dentre outros. Além disso, Roblek, Meško e Krapež (2016), afirmam que as

organizações precisam entender que a tecnologia pode auxiliá-los na identificação de opiniões e de fatores que possam influenciar na tomada de decisão de um cliente referente a aquisição de um produto.

2.3.3 Big Data e Big Data Analysis

Através destas tecnologias citadas anteriormente, a indústria atual passará seus grandes dados (*Big Data*) para um sistema em nuvem, sendo disponibilizada em tempo real. Estes dados são minuciosos, ou seja, se tornam grandes dados pois captam de ponta a ponta dentro da indústria, além de sincronizar algumas informações aos clientes, vendedores, fornecedores entre outros, gerando uma grande quantidade de dados.

Para auxiliar a falta de capacidade do ser humano de interpretar essa grande quantidade de dados, se torna necessário mecanismos que interpretem, analisem e padronizem as informações corretas e assim disponibilize no banco de dados.

De acordo com Rezende (2005), a grande quantidade de dados vem sendo utilizada, principalmente em empresas e instituições acadêmicas, tendo em vista que estas informações são de grande importância, como por exemplo, a validação de crédito ao cliente, combatendo fraudes. Também pode ser utilizado nos bancos de dados de hospitais para verificar o desenvolvimento de doenças nos pacientes (na tentativa de antecipar tratamentos e assim prevenindo antecipadamente).

De acordo com Kang et al. (2016), através do desenvolvimento de software e sistemas, uma grande quantidade de dados (*Big Data*), poderão ser interpretados e analisados. A Fábrica Inteligente exige a eficiência de processos e serviços, junto com a visualização, análise e compartilhamentos dos dados referentes a fabricação.

Atualmente, alguns pesquisadores utilizam como sinônimos os termos *Big Data* e *Big Data Analysis*, pois além de estar disponíveis está grande quantidade de dados, estes devem ser analisados, tendo em vista que podem haver informações distorcidas, fora do padrão estabelecido pela organização.

A era *Big Data* está em todos os campos, como por exemplo na mídia social, trazendo a oportunidade para a medição de dados (IoT e dispositivos digitais inteligentes, por exemplo), a capacidade de armazenamento de dados (como a computação em nuvem), a tecnologia computacional inteligente que analisa os dados

(*Big Data Analysis*) e a tomada de decisões de acordo com os dados disponíveis (inteligência artificial, aprendizado de máquina, computação cognitiva, por exemplo) (CHIANG; LU; CASTILLO, 2017).

A necessidade de captar e analisar os dados trará um alto desempenho para a indústria, além de fidelizar os clientes pela confiança na qualidade dos produtos e processos produtivos. No entanto, esta integração de dados terá uma variedade de dados precisos e incertos, que podem ser facilmente coletados ou gerados em uma alta velocidade em diversas aplicações. Com a *Big Data Analysis*, a complexidade de serem analisados e gerenciados será maior em relação aos meios tradicionais (refere-se a dados que não estão integrados e sincronizados) (SNÁŠEL et. al., 2016).

A necessidade desta grande geração de dados faz com que haja um alto crescimento quanto ao armazenamento, gerenciamento, processamento e a acessibilidade, impulsionando diversas áreas tais como acadêmica, médica, engenharia e a social (SNÁŠEL et. al., 2016).

Na literatura especializada, é possível encontrar alguns estudos relacionados ao *deep learning* e sua influência no contexto da *Big Data*. De acordo Lecun, Bengio e Hinton (2015), o *deep learning* interpreta múltiplas camadas de processamento, capaz de reconhecer as representações de dados, ou seja, reconhece fala, objetos visuais, detecta objeto entre outros domínios.

Os autores Krizhevsky et al. (2012), conseguiram aumentar a taxa de precisão do reconhecimento de imagens na *Big Data* em seu estudo. Os métodos tradicionais possuem uma taxa de aproximadamente 74,2% e o modelo apresentado neste estudo atingiu a taxa de 83,6% de precisão com *deep learning*.

De acordo com Snášel et. al. (2016), há uma previsão de que a grande quantidade de dados, poderão atingir 44 *zettabytes* (1 *zettabyte* = 10^{21} bytes) em 2020, devido à complexidade da grande geração destes dados há muito a ser avançado tecnologicamente, tanto em relação ao armazenamento quanto, banda larga e a eficiência e agilidade na transferência dos dados.

2.3.4 Cloud Manufacturing (CM)

O conceito de *Cloud Manufacturing* (computação em nuvem) refere-se ao seu modo operacional, onde os provedores fornecem seus recursos de fabricação, que

são transformados em serviços, logo após, agrupados em uma plataforma em nuvem, ou seja, o cliente acessa a plataforma, solicita os requisitos do produto como design e testes, além de gerenciar todas as etapas do ciclo de vida do produto (LI; XU, 2017).

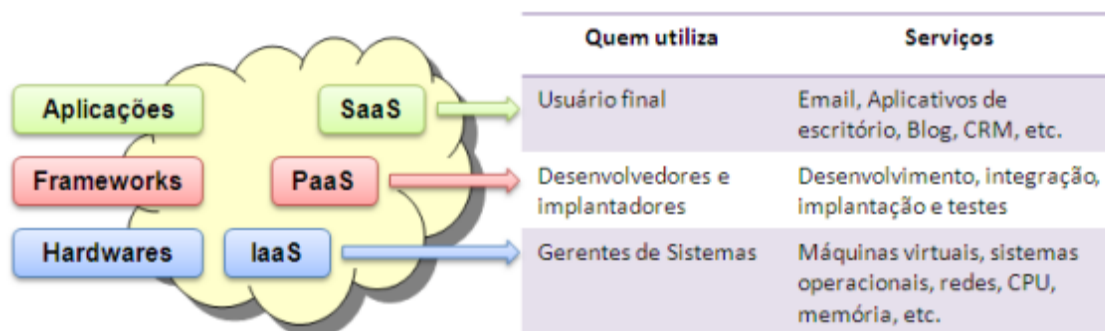
De acordo com Bauer et al. (2018), a computação em nuvem é definida pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (*National Institute of Standards and Technology* - NIST) como um modelo que permite acesso onipresente à rede, compartilhando diversos recursos de computação (como redes, servidores, armazenamento, aplicativos, serviços entre outros).

Nos últimos anos, tem-se aumentado a demanda em tecnologias, sistemas e software voltados para a computação em nuvem. De acordo com Wu, Terpenney e Schaefer (2016), há uma previsão de gastos de 127 bilhões de dólares em serviços de armazenamento em nuvem para 2018, estudo realizado pelo *International Data Corporation*.

Além disso, de acordo com Schluga et al. (2018), o recurso denominado de *Infrastructure as a Service* (IaaS) está crescendo, e um dos principais motivos são os sistemas de serviços baseados em nuvem, seguindo a estratégia de negócios digitais. Um dos principais tópicos do IaaS é a segurança das operações que envolvem os processos críticos do dia-a-dia dentro de uma organização, como máquinas virtuais e plataformas de virtualização, mantendo a confiabilidade dos dados, integridade e a garantia da disponibilidade. Além da plataforma IaaS existem outros serviços em nuvem, tais como *Platform-as-a-Service* (PaaS) ou *Software-as-a-Service* (SaaS).

A Figura 5, apresenta a arquitetura padrão para serviços em nuvem dando exemplo de quem utiliza e como são seus serviços.

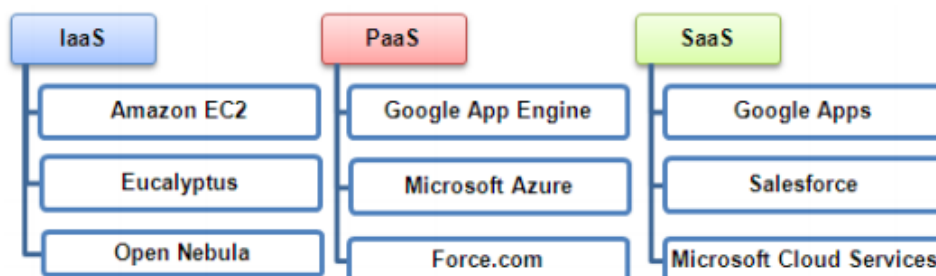
Figura 5 – Modelos padrões de serviços em nuvem



Fonte: Adaptado de Borges et al. (2011).

Já a Figura 6 representa exemplos de aplicações destas plataformas sendo destacadas por camadas.

Figura 6 - Exemplo de aplicações



Fonte: Adaptado de Borges et al. (2011).

Através do IaaS, os clientes possuem acesso direto em seus servidores e armazenamento, quando comparado com outros tipos de modelos de computação em nuvem, o IaaS possui flexibilidade, permitindo a automatização dos servidores, armazenamento, capacidade de processamento e rede. Desta forma, os clientes podem controlar sua infraestrutura, quando comparado com PaaS ou SaaS (BAUER et al., 2018).

Na indústria 4.0, a manufatura em nuvem vem sendo utilizada também para o design e fabricação de produtos (*Cloud-Based Design and Manufacturing - CBDM*) e é um dos pilares principais para a sustentação do CPS, IoT, Internet Industrial (WU; TERPENNY; SCHAEFER, 2016).

De acordo com Wu, Terpenney e Schaefer (2016), os principais benefícios do CBDM são: funcionalidade aprimorada; acessibilidade (acesso a qualquer momento); eficiência em custo; armazenamento seguro e alto volume de dados; alta flexibilidade e alto rendimento.

Segundo Ren et al. (2017), a computação em nuvem disponibiliza diversos modelos de implementação, tais como: nuvem pública, nuvem privada, nuvem de comunidade e nuvem híbrida. A nuvem pública é utilizada com mais frequência por prestadores de serviços, a nuvem privada permite apenas que uma organização a utilize, já a nuvem comunitária compartilha informações para um grupo específico e por fim, a nuvem híbrida é a composição de uma ou mais tipos de nuvens já citadas que são conectadas, porém funcionam de modo independente.

A CM está sendo voltada para atender as necessidades dos clientes, em que o mesmo possui a opção de configurar seu produto, tendo acesso aos recursos de

manufatura. As linhas de produção possuem elementos temporários e são reconfiguráveis, aumentando a eficiência, reduzindo o custo do ciclo de vida do produto, além de atender a demanda do cliente, mesmo que seja variável (KANG et al., 2016).

A computação em nuvem pode ser utilizada de várias formas, tendo em vista que a mesma possibilita o acesso onipresente e sem interrupções, como por exemplo, modelagem, simulações, serviços e software conectado sob demanda.

2.3.5 Information Security

Como pode ser observado, o avanço tecnológico na Indústria 4.0 irá revolucionar a sociedade como um todo, principalmente quando se diz a respeito à geração de dados. No entanto, é necessário se precaver contra possíveis ataques cibernéticos criando sistemas de segurança, diante destes dados, tendo em vista que a segurança da informação (*Information Security*) estará diretamente ligada com a integridade e a confiabilidade dos dados.

Desta forma, os serviços em nuvem devem estar seguros para não comprometerem os dados dos usuários e do provedor para este tipo de serviço, e desta forma. A ISO/IEC 27017:2016 disponibiliza diretrizes para controlar a segurança dos usuários quanto aos serviços em nuvem, tendo como objetivo o fornecimento de controles específicos quanto à segurança dos serviços em nuvem (FREUND; FAGUNDES; MACEDO, 2017).

Estudos como a criptografia leve tem sido de extrema relevância para a aplicação na IoT, com o objetivo de fornecer segurança para as plataformas, e desta forma, os requisitos básicos esperados para a criptografia leve são: a baixa ocupação de recursos e alcance de um alto nível de segurança (OZKAYNAK; MUHAMAD, 2017).

Rial et al. (2017), abordam em seu trabalho um método para integrar aspectos da segurança com a cibersegurança, com foco no setor automotivo. Os autores se baseiam em um conceito de defesa por camadas, no qual permite identificar padrões de ataques de segurança, além de utilizar um sistema embarcado com interface hardware-software para determinar as fronteiras de confiança sob restrições de segurança, identificando a viabilidade do sistema, podendo ser aplicado na indústria, tornando o conceito universal.

De acordo com Schluga et al. (2018), toda a organização deve estar ciente quanto aos potenciais riscos de ataques cibernéticos. Desta forma, os autores listam os principais conceitos da segurança de operações:

- Redução da vulnerabilidade operacional;
- Proteção dos recursos ativos da computação e da informação;
- Equilíbrio quanto à facilidade da utilização, controle do sistema, importância dos dados e a necessidade de negócios;
- Cumprimento das leis e aspectos organizacionais.

Além disso, os consumidores precisam tomar cuidado quanto aos riscos de privacidade da segurança da informação, principalmente quando houver a gestão dos dados nos países, tendo em vista que as leis e a cultura sobre privacidade em outros países são diferentes (PING; QIANG, 2017).

De acordo com Ping e Qiang (2017), as empresas que trabalham com a segurança da informação têm a responsabilidade de gerir se atendo a cinco atividades básicas quanto ao risco:

- Primeiro: Entender e descrever o serviço de software da indústria;
- Segundo: Definir os riscos técnicos no produto quanto ao fornecimento de serviços e na produção;
- Terceiro: Elaborar e determinar um conjunto de diferentes níveis de riscos;
- Quarto: Conduzir os serviços de software e de sistemas da informação para avaliar os riscos de segurança, além de contemplar com estratégias e monitoramento dos riscos;
- Quinto: Controlar os riscos, para que possa ser verificado e reparado quando houver a necessidade de intervenção da segurança quanto à informação.

Como forma de prevenção, a Agência Europeia para a Segurança das Redes e da Informação (*European Network and Information Security Agency - ENISA*) avalia o conjunto de parâmetros para a IaaS (*Infrastructure as a Service*), tendo como objetivo avaliar as plataformas em nuvem e os padrões industriais do IaaS de código aberto, como a VMware e OpenStack, ambas plataformas fornecem nuvens privadas, utilizadas para o cenário Indústria 4.0 (BAUER et al., 2018).

2.3.6 Economia de Energia

Um dos componentes da Indústria 4.0 será otimização do consumo de energia, pois a energia é um dos elementos que encarece o produto transformado. De acordo com Wan et al. (2017), a otimização do consumo de energia terá um papel fundamental na composição da Fábrica Inteligente.

Nas Fábricas Inteligentes, a economia da energia é um dos elementos relevantes, onde cada vez mais surgem estudos sobre este assunto aplicado à fabricação, como sistema de gerenciamento de energia na fábrica (*FEMS - Factory Energy Management System*) e sistema de gerenciamento de energia em edifícios (*BEMS - Building Energy Management System*). Esses estudos focam na eficiência, análise e monitoramento do consumo de energia (KANG et al., 2016).

Para Faheem e Gungor (2017), a Indústria 4.0 revolucionou a energia elétrica, criando a rede elétrica inteligente, conhecida também como *Smart Grid* (rede elétrica inteligente). A sua estrutura é composta por redes de sensores sem fio, que têm como potencial, melhorar a eficiência da rede elétrica com flexibilidade de implementação e redução de custos através da substituição de cabos.

A *Smart Grid* utiliza medidores inteligentes que são capazes de monitorar, controlar eletrodomésticos e podem se comunicar com outros medidores, disponibilizando aos clientes um maior controle sobre o consumo de energia, e possui como vantagem a coleta de dados em tempo real, status do dispositivo e dados de consumo de energia (JIRKOVSKÝ et. al., 2016).

2.3.7 Infraestrutura Inteligente

Para atender as necessidades dos equipamentos de produção na Indústria 4.0, precisa ter uma infraestrutura inteligente conectada com o sistema, tendo acesso à Internet, energia, sistema seguro e uma comunicação confiável.

A infraestrutura inteligente possui um sistema descentralizado pelo fato de rotear energia e informações em tempo real, porém, também possui a característica de ser centralizada, pois pode gerenciar e monitorar o consumo de energia e de informações através de diagnóstico (WEYER et al., 2015).

Pode se observar que a infraestrutura se tornará flexível, adaptando-se para atender diferentes tipos de demanda de produto (como design e lote, por exemplo), atendendo as necessidades individuais de cada cliente.

Neste novo modelo de indústria, as características tais como percepção, análise, decisão e controle, precisam prevalecer para que desta forma, atenda aos requisitos do produto em tempo real, aplicado também para o desenvolvimento de novos produtos (WAN et al., 2016).

Ao se adaptar e atender as necessidades dos clientes, é necessário que se tenha uma rastreabilidade intensa quanto ao produto, e para isso, produtos inteligentes (*smart products*) estão sendo desenvolvidos. Esses produtos podem se referir a objetos, dispositivos e máquinas com sensores, todos controlados através de um *software* conectado à Internet (LI: XU, 2017).

Segundo Weyer et al. (2015), a ideia é que o produto faça parte do sistema, e dessa forma, implante-se um recurso de armazenamento para que os dados sejam armazenados, e desta forma, o produto solicitará recurso caso haja necessidade. Contudo, os futuros sistemas de produção se tornarão altamente modulares e de múltiplos fornecedores, e para que isto aconteça se faz necessário o acompanhamento de cada fase do processo, tais como: rastrear; monitorar; controlar e processar os dados de acordo com as etapas de desenvolvimento.

Já para Roblek, Meško e Krapež (2016), microchips e sensores serão inseridos nos produtos inteligentes para que haja a integração com a IoT e consequentemente o monitoramento e a rastreabilidade do mesmo.

Desta forma, faz-se necessário a existência de plataformas para o gerenciamento da infraestrutura inteligente. Há algumas plataformas que estão sendo adaptadas para o gerenciamento destes novos recursos no contexto de infraestrutura inteligente voltadas para a Indústria 4.0.

Tao et al. (2016), adaptaram uma plataforma já existente, a *Supply-Demand Matching* (SDM), visando atender as novas aplicações da tecnologia da Indústria 4.0. A nova plataforma chamada de SDMSim (*Supply-Demand Matching Simulator*) tem como objetivo propor modelagem, simulação, avaliação, além de contemplar gerenciamento de manufatura de serviços e de tarefas, estratégias de design, estatística e visualização da produção. Ela tem como potencial atender aos usuários da manufatura, operadores, consumidores e pesquisadores.

Segundo Carolis et al. (2017), existem outros métodos como *Supply Chain Readiness Level* e *MESA Manufacturing Transformation Strategy*, mas estes modelos ignoram o uso das tecnologias TIC, ou seja, não se aplicam na situação atual da Indústria 4.0.

A infraestrutura inteligente contemplará também, a manutenção inteligente, onde este modelo de manutenção será proativo, prevenindo eventualidades. O termo manutenção inteligente (*Smart manufacturing - SM*) é utilizado por várias agências nos EUA, como Departamento de Energia (*Department of Energy - DoE*) e o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (*National Institute of Standards and Technology - NIST*) (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

A manutenção tem um papel de extrema importância para a fábrica inteligente, tendo em vista que quando ocorre um problema, afeta o equipamento e a eficiência da produção. Este novo modelo de manutenção chamado também de manutenção preventiva ativa, apoia-se através da coleta de dados em tempo real, integração entre alarmes nos dispositivos, registros e status para avaliar em tempo real o estado do equipamento. Em resumo, previne quaisquer eventualidades, sendo proativo, prevenindo os problemas com antecedência (WAN et. al., 2017).

No contexto da gestão de cadeia de suprimentos, a infraestrutura inteligente será de extrema relevância, tendo em vista que a mesma controlará a indústria, logística, processos entre outras áreas predominantes.

A gestão da cadeia de suprimentos (*supply chain management*) impacta em todas as áreas dentro de uma indústria, e impulsiona outras, como operações de fabricação; coordenação de processos; marketing; design para o produto a ser vendido; finanças e tecnologia da informação. Além de englobar o planejamento e gerenciamento de todas as atividades envolvidas na terceirização (MAJEED; RUPASINGHE, 2017). Este gerenciamento inclui fornecedores, serviços terceirizados e clientes.

Na Indústria 4.0, a gestão da cadeia de suprimentos irá passar por um processo de transformação, impactando nos fornecedores, na logística e na gestão do ciclo de vida de produto. Todos estes processos serão conectados diretamente na indústria (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

Os sistemas CPS, IoT, CM são de extrema importância para esta transição, tendo em vista que a cadeia será controlada e rastreada em tempo real e necessitará

de informações para a realização da gestão, tornando um grande desafio para este novo momento de disruptura.

Com isso, foram apresentados os principais componentes explanados pela literatura especializada. Percebe-se que algumas características apresentadas anteriormente na Seção 2.2, foram contempladas nos componentes apresentados.

2.3.8 Perfil Profissional 4.0

Há uma ampla abrangência de aplicações da Indústria 4.0 para o futuro, acarretando em novas qualificações profissionais dentro de pouco tempo, considerando que as discussões sobre Indústria 4.0 iniciaram-se em 2011. As empresas levam isso em conta ao desenvolver e fornecer plataformas apropriadas para ensino e pesquisa (WEYER et al., 2015).

De acordo com Roblek, Meško e Krapež (2016), o novo perfil do profissional que irá trabalhar na Indústria 4.0 precisará desenvolver um “pensamento digital”, ter senso de análise crítica para se adequar ao novo modelo.

Para o desenvolvimento da Indústria 4.0 necessita-se da colaboração de diferentes áreas tecnológicas, como engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciência da computação (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Segundo Vasconcelos (2018), sendo assim, o profissional da Indústria 4.0 precisa de uma visão de multi áreas e multi disciplinar há uma do proposta pelo Concelho Nacional de Educação (CNE), para a reformulação dos cursos de engenharia no Brasil para que possam atender a demanda de mercado de trabalho voltado para a Indústria 4.0. O sistema atual não possui multidisciplinaridade exigida pela Indústria 4.0, além de haver dificuldade encontradas pelos alunos para lidar com situações relacionas com gestão de projetos, liderança e trabalho em grupo (de forma integrada). A proposta de reformulação tratará de atender esta nova realidade da Indústria 4.0 no intuito de oferecer profissionais melhores preparados para as indústrias inteligentes.

Com o progresso acelerado sobre a Indústria 4.0, a gestão destes novos funcionários tornou-se um desafio, tendo em vista que as relações entre empresa, funcionários e clientes inevitavelmente irão crescer, e essa mudança de

comportamento se tornará um estudo a ser investigado pela ciência da administração (LIU, 2017).

Neste sentido, algumas pesquisas já apontam estudos voltados à “Sociedade 5.0”, o Japão busca planos concretos visando integrar tais tecnologias como CPS com a sociedade, lidando com um problema real, o envelhecimento da sociedade, adaptando tais tecnologias com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas (COSTA, 2018).

Para conciliar este novo perfil do trabalhador, as indústrias precisam se adequar ao modo de treinar o profissional. Gorecky, Khamis e Mura (2015), abordam em seu trabalho o sistema *VISTRA*, que foi desenvolvido com o objetivo de treinar os colaboradores em um ambiente virtual semelhante as características do cenário real. Desta forma, este sistema possibilita treinar o colaborador sem quaisquer riscos do ambiente real, utilizando-se através da simulação um ambiente virtual para qualificar as novas tendências tecnológicas.

Merkel et al. (2017), abordam a aprendizagem nos sistemas de produção cíber-físicos (*Cyber-Physical Production Systems - LVP*), que trata de um ambiente de aprendizagem com as tecnologias mais recentes, podendo ser treinados enquanto aprendem sob circunstâncias realistas de forma segura e livre de riscos.

Neste momento de transformação da indústria, é necessário o treinamento intensivo e educação contínua aos funcionários, para desenvolver/expandir competências nas áreas da digitalização (MERKEL et al. 2017). Desta forma, este sistema LVP, oferece uma maior transparência de processos de produção complexos para o operador além de ser estrategicamente adaptável para os novos requisitos de fabricação, tornando-se um avanço para a fábrica do futuro.

Para Galaske et al. (2018), os colaboradores do setor de produção serão os mais afetados pela implementação da digitalização. Com a Indústria 4.0, os papéis dos trabalhadores de produção mudarão, passando de operador para coordenador de fábrica e não ameaçará apenas os setores de manufatura, mas também impactará nas áreas de serviços e no administrativo. Diante deste contexto, pode-se observar que os trabalhadores operacionais deverão desempenhar um papel mais estratégico na indústria, tendo em vista que ter o conhecimento técnico não será apenas um diferencial, mas sim uma competência necessária a ser exercida na Indústria 4.0.

Segundo um estudo do Fórum Econômico Mundial, os impactos da Indústria 4.0 nas fábricas e escritórios custaram mais de cinco milhões de postos de trabalhos

até 2020 (GALASKE et al., 2018). No entanto, a estimativa realizada pelo *Boston Consulting Group* (BCG) indica que o número de empregos irá aumentar em 6% até 2027. A demanda no setor de engenharia mecânica deverá aumentar em 10%. A perspectiva é de que 960 mil postos de trabalho deverão ser criados, principalmente nas áreas de desenvolvimento de software e TI (SIEMENS, 2017).

De acordo com Ortega (2019), no ano de 2019, a China reconheceu mais 13 novas profissões oficiais na área de tecnologia, sendo elas: Engenheiro de IA, Engenheiro de IoT, Engenheiro de Big Data, Engenheiro de computação na nuvem, Gestor digital, Técnico em modelagem para arquitetura, Operador de e-sports, Jogador de e-sports, Piloto de drone, Analista de dados em agricultura, Instalador de IoT, Operador de robô e Manutenção de robô.

Para que os profissionais possam acompanhar este novo processo de evolução industrial, será necessário buscar aperfeiçoamento técnico. Além disso, requisitos como, agilidade, flexibilidade e ter boas relações com profissionais de diferentes áreas, serão indispensáveis, tendo em vista que a Indústria 4.0 envolve multiáreas e multidisciplinar.

Um estudo realizado pela *VDI-Studie - Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation* (2019), buscou identificar algumas competências interdisciplinares que serão fundamentais para este novo cenário de Indústria 4.0. O estudo tomou como base as respostas dadas por coordenadores de cursos, desta forma as principais competências são: 85% informaram capacidade analítica, 82% para resolução de problemas, 60% para autoaprendizagem.

A partir dos componentes explanados na seção 2.3.9, será apresentado um quadro resumo (Quadro 4) que auxiliará na visualização dos mesmos e possibilitará a construção da ferramenta para responder à pergunta de partida e objetivo geral deste trabalho, conforme explanado no Capítulo 1.

2.3.9 Quadro Resumo

O Quadro 4 apresenta um resumo dos assuntos abordados na seção 2.3 "Componentes da Indústria 4.0".

Quadro 4 - Resumo dos componentes da Indústria 4.0

COMPONENTES	CARACTERISTICAS	AUTORES	PRINCIPAIS ÁREAS DE CONHECIMENTO CORRELATAS
1. Cyber Physical System (CPS)	O CPS é caracterizado por possuir máquinas inteligentes, sistema de armazenagem e um sistema de produção que possuem trocas de informações de forma autônoma e inteligente. Trata-se de entidades computacionais que possuem uma conexão intensa com o mundo físico, fornecendo em tempo real os dados via Internet referentes aos serviços, processos e a produção em massa, tendo como uma das principais vantagens a eficiência e a flexibilidade na agilidade de tomar decisões. Possui tecnologias emergentes tais como a IoT, redes de sensores sem fio, <i>Big Data</i> , <i>Cloud Manufacturing</i> (computação em nuvem), sistemas embarcados (que realiza um conjunto de tarefas pré-definidas) e Internet móvel, possibilitando a interação com homem-máquina.	Posada et al. (2015); Kang et al. (2016); Wang et al. (2016); Thoben, Wiesner, Wuest, (2017);	Engenharia da Computação, Engenharia de Telecomunicações, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Ciências da Computação, Análise de Sistemas.
2. Internet of Things (IoT)	A IoT é contemplada por sensores, software e a comunicação entre as máquinas e as linhas de produção, permitindo-a coleta e a troca de dados através dos sensores inteligentes, além de ser habilitado a analisar os dados com a integração do CPS e <i>Cloud Manufacturing</i> (CM). Possui também a capacidade de obter em tempo real as informações através dos sensores e objetos, além de ter a capacidade de detectar falhas e acionar a manutenção. Após a leitura encaminha com segurança as informações para a nuvem, sendo atualizada em tempo real com parâmetros de um sistema de circuito fechado.	Kang et al. (2016); Wang et al. (2016);	Engenharia da Computação, Engenharia de Telecomunicações, Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, Ciências da Computação, Análise de Sistemas.
3. Impacto da IoT	A IoT está possibilitando a integração de outras tecnologias principalmente quando se diz a respeito de atividades humanas aos sistemas de comunicação como IoP (<i>Internet of Persons</i>) e IoS (<i>Internet of Service</i>). A IoP é um ambiente de rede no qual os usuários (pessoas) estão ligados aos seus afazeres via Internet através da combinação da tecnologia IoT.	Hofmann, Rüsç, (2017); Marcon et al., (2017); Conti, Passarella e Das (2017).	Engenharia da Computação, Engenharia de Telecomunicações, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção,

COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS	AUTORES	PRINCIPAIS ÁREAS DE CONHECIMENTO CORRELATAS
	Os usuários estão conectados a uma vasta quantidade de dados, que a princípio podem ser acessados a qualquer momento. A IoT tem como base a disponibilidade de serviços/ produtos através da tecnologia web, que permite aos usuários combinar, criar e oferecer novos tipos de serviços com valor agregado.		Ciências da Computação, Análise de Sistemas.
4. Big Data e Big Data Analysis	Através do desenvolvimento de software, sistemas captação de dados através da IoT, uma grande quantidade de dados são gerados e devem ser interpretados e analisados. A Fábrica Inteligente exige a eficiência de processos e serviços, junto com a visualização, análise e compartilhamentos dos dados referentes a fabricação. Estes dados são minuciosos, ou seja, se tornam grandes dados pois captam de ponta a ponta dentro da indústria, além de sincronizar algumas informações aos clientes, vendedores, fornecedores entre outros, gerando uma grande quantidade de dados.	Kang et al. (2016).	Engenharia da Computação, Engenharia de Telecomunicações, Ciências da Computação, Análise de Sistemas.
5. Information Security	É necessário se ter sistemas de segurança contra possíveis ataques cibernéticos, tendo em vista que é da responsabilidade da indústria manter a integridade e a confiabilidade dos dados. Desta forma, os serviços em nuvem devem estar seguros para não comprometerem os dados dos usuários e do provedor para este tipo de serviço. Toda a organização deve estar ciente quanto às potências riscos de ataques cibernéticos.	Freund; Fagundes; Macedo, (2017); Schluga et al. (2018).	Engenharia da Computação, Engenharia de Telecomunicações, Ciências da Computação, Análise de Sistemas.
6. Cloud Manufacturing (CM)	O conceito de <i>Cloud Manufacturing</i> refere-se ao seu modo operacional, onde os provedores fornecem seus recursos de fabricação, que são transformados em serviços, logo após, agrupados em uma plataforma em nuvem, ou seja, o cliente acessa a plataforma, solicita os requisitos do produto como design e testes, além de gerenciar todas as etapas do ciclo de vida do produto. A CM está sendo voltada para atender as necessidades dos clientes, em que o mesmo possui a opção de configurar seu produto, tendo acesso aos recursos de manufatura. As linhas de produção possuem elementos temporários e são reconfiguráveis, aumentando a eficiência, reduzindo o custo do ciclo de vida do produto além de atender a demanda do cliente, mesmo que seja variável.	Kang et al. (2016). (LI; XU, 2017).	Engenharia da Computação, Engenharia de Telecomunicações, Ciências da Computação, Análise de Sistemas.

COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS	AUTORES	PRINCIPAIS ÁREAS DE CONHECIMENTO CORRELATAS
7. Economia de Energia	A Smart Grid utiliza-se de medidores inteligentes que são capazes de monitorar, controlar eletrodomésticos e podem comunicar com outros medidores, disponibilizando aos clientes maior controle sobre o consumo de energia, e possui como vantagem a coleta de dados em tempo real, status do dispositivo e dados de consumo de energia.	Jirkovský et. al. (2016); Faheem; Gungor (2017),	Engenharia da Computação, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia de Telecomunicações, Ciências da Computação, Análise de Sistemas.
8. Infraestrutura Inteligente	A infraestrutura inteligente possui um sistema descentralizado pelo fato de rotear energia e informações em tempo real, porém também possui a característica de ser centralizada, tendo em vista que pode gerenciar e monitorar o consumo de energia e de informações, através de diagnóstico. A ideia é de que o produto faça parte do sistema, de forma que o produto solicite recursos caso haja necessidade, tendo em vista que deverá ter a adaptabilidade para atender as necessidades dos clientes. Além disso faz parte da infraestrutura inteligente possuir recursos para o gerenciamento de toda cadeia e máquinas que tomam decisões quanto a manutenção inteligente. Os sistemas CPS, IoT, CM são de extrema importância para esta transição, tendo em vista que a cadeia será controlada e rastreada em tempo real e necessitará de informações para a realização da gestão, tornando um grande desafio para este novo momento de ruptura	Weyer et al. (2015); Li: Xu, (2017); Roblek; Meško; Krapež, (2016).	Engenharia da Computação, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia de Telecomunicações, Ciências da Computação, Análise de Sistemas.
9. Novo perfil profissional	O novo perfil do profissional que irá trabalhar na Indústria 4.0, será desenvolver um “pensamento digital”, ter senso de análise crítica para se adequar ao novo modelo. Neste novo momento de transformação da indústria é necessário o treinamento intensivo e uma educação contínua aos funcionários, para desenvolver/expandir competências nas áreas da digitalização. Para que os profissionais possam acompanhar este novo processo de evolução industrial, devem buscar aperfeiçoamento técnico, mas além disso deverá ter agilidade, flexibilidade e ter boas relações com outros profissionais de diversas áreas, tendo em vista que a Indústria 4.0 é interdisciplinar.	Roblek, Meško e Krapež (2016). Merkel et al. (2017).	Engenharia da Computação, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia de Telecomunicações, Ciências da Computação, Análise de Sistemas.

Fonte: Autoria própria (2019).

Diante do Quadro 4 exposto, das características e conceitos sobre Indústria 4.0 verificados nos países apresentados e ainda componentes abordados, pode-se afirmar que a Indústria 4.0 é aquela que irá unir todas as áreas tecnológicas com o objetivo comum de que a indústria seja autossuficiente.

Através da revisão de literatura, foi possível identificar o surgimento de novos componentes que complementam o contexto da Indústria 4.0, como por exemplo o *IoP (Internet of Person)*, *Fog Computing*, *PLM (Product Lifecycle Management)*, mudança na legislação e novo perfil profissional referente a Indústria 4.0, que tratam-se de componentes ainda pouco explorados, mas que foram citados ao longo do Capítulo 2.4, e que possuem grande potencial de utilização no futuro.

Como pode ser observado neste Capítulo, os países citados ao longo do texto buscam pela implementação da Indústria 4.0, pelo simples fato do que ela pode oferecer estrategicamente a integração vertical, horizontal e de ponta a ponta, tornando-se autossuficiente, ou seja, capacitada a operar de maneira independente e com uma reconfiguração dinâmica. Além disso, estes países se destacam na corrida contra a concorrência internacional, com perspectivas de atingirem a produção mundial com qualidade, altos investimentos tecnológicos, se reinventando em suas estratégias de mercado.

Devido a essa disruptura tecnológica e digital, diversos profissionais tais como operadores de máquinas, estarão perdendo espaço dentro das indústrias, e dessa forma, esse tipo de profissional precisará buscar uma qualificação adequada para ocupar cargos estratégicos dentro desse novo contexto tecnológico, além de possuir as habilidades técnicas e de interação com outras áreas (trabalho em grupo com profissionais de diversas áreas).

Esse “novo profissional” precisará de capacidade analítica e conhecimento em programação, pois o mesmo se responsabilizará por controlar parâmetros utilizados em uma linha de produção, como por exemplo, características de produtos personalizados (cor, tamanho, material, etc).

É possível perceber que a Indústria 4.0 não será interpretada apenas como uma evolução tecnológica, mas também como uma evolução para a estrutura da organização e na cultura empresarial.

Neste sentido, a Indústria 4.0 promoverá grandes avanços, principalmente no desenvolvimento de produtos inteligentes, personalizados, rastreáveis e com um curto ciclo de vida. A gestão destes produtos será em tempo real, para que desta forma,

possam ser controlados. E para atender esta nova demanda, as indústrias precisam trabalhar com processos adaptáveis, integrados, interoperabilidade (capacidade de um sistema se comunicar com o outro), digitalizados (holograma, realidade aumentada, simulação entre outros recursos), padronização de dados e de análise avançada (tomadas de decisões automatizadas, além de verificar a veracidade das informações).

Após a apresentação da base conceitual, a próxima seção abordará os modelos de maturidade desenvolvidos no contexto da Indústria 4.0, para que se possível identificar como esses modelos se apresentam na literatura especializada, e consequentemente explorar melhorias para a realização de um novo modelo de maturidade nesse contexto.

2.4 MODELOS DE MATURIDADE NA INDÚSTRIA 4.0

Com o auxílio de um modelo de maturidade, é possível identificar a situação atual da organização e propor uma abordagem para melhorar os processos. Normalmente os modelos de maturidade são utilizados para diversas aplicações. Desta forma, os modelos de maturidade possuem uma sequência lógica que incluem níveis ou estágios que formam uma sequência a ser desejada (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016).

Segundo Gökalp et al. (2017), uma das principais dificuldades quanto ao desenvolvimento de um modelo de maturidade na Indústria 4.0, é identificar os limites da transformação do processo, pois envolve outras dimensões como infraestrutura (arranjo físico e práticas sobre Indústria 4.0), sistemas da informação, dados da organização e a integração destes dados.

Desta forma, nesta seção serão apresentados os modelos que avaliam a maturidade na Indústria 4.0 encontrados através da revisão de literatura.

2.4.1 Modelo “Toolbox Workforce Management 4.0”

Para integrar os fatores humanos na Indústria 4.0 foi desenvolvido o *Toolbox Workforce Management 4.0* (WM4.0), que analisa a situação da indústria quanto as competências e as condições de trabalho para o avanço da fabricação digital na

Indústria 4.0. Tal modelo foi desenvolvido com base em dois modelos: *Guideline Industrie 4.0* e *Generic Procedure Model for Industrie 4.0* (GALASKE et al., 2018).

Os elementos WM4.0 foram divididos em 4 níveis com os seguintes aspectos: 1) Habilidades difíceis (*hard skills*), tendo como características a aplicação do conhecimento em TI, sendo capaz de desenvolver e implementar soluções de TI, conhecimento em diferentes operações de fabricação; 2) Habilidades suaves (*soft skills*), as características neste nível são relacionadas a competência pessoal, colaboradores proativos que agem sob sua própria responsabilidade, competência social relaciona com a habilidade de comunicação, principalmente com o aspecto de interdisciplinaridade para a transferência do conhecimento, tendo em vista que irá lidar com diversos profissionais, aliada com a competência metódica sendo capaz de trabalhar com diversas técnicas e métodos; 3) Usabilidade e operabilidade (*usability & operability*), onde são aplicados sistemas de assistência, sendo caracterizada pela interação e adaptabilidade, fornecem informações para o colaborador com base as suas qualificações e a situação atual, além de ser caracterizado pela interação homem-máquina (interação com a realidade aumentada e realidade virtual), contempla também suporte na decisão, a transferência de decisões dos seres humanos para os sistemas inteligentes; 4) Ambiente de trabalho (*work environment*), contempla a aplicação de treinamento contínuo aos trabalhadores aos aspectos de privacidade e segurança das informações, neste nível se caracteriza também a flexibilidade organizacional, onde inclui a flexibilidade, automação com base nas competências, além disso, a ideia é de que se tenha automatização da documentação, ou seja, é de que a documentação seja totalmente automatizada, sem papéis e certificação nos processos de trabalho (GALASKE et al., 2018).

Desta forma, o modelo *Toolbox Workforce Management 4.0* pode ser utilizado para analisar as competências e as condições de trabalho quanto ao avanço digital na Indústria 4.0, fornecendo um perfil de acordo com o estágio desenvolvimento. Esta análise pode ser conduzida para diferentes funções de trabalho e em diferentes áreas como por exemplo aplicar para um operador de máquina ou um planejador de produção (GALASKE et al., 2018).

Pode-se observar que o modelo é uma contribuição tanto para a literatura, quanto para as empresas, tendo em vista que a identificação da situação do colaborador e as condições de trabalho perante a Indústria 4.0 é um grande desafio para as empresas. Porém, como ponto de melhoria para este trabalho, foi a não

apresentação do questionário bem como a avaliação e os critérios a serem estabelecidos para a análise da situação da empresa, o que não permite observar criticamente o quão profundo foram os critérios e as análises utilizados no modelo.

2.4.2 Modelo “DREAMY”

O modelo DREAMY (*Digital Readiness Assessment Maturity Model*), desenvolvido por Carolis et al. (2017), tem como objetivo auxiliar as indústrias neste processo de transformação, identificando o nível que a empresa está no cenário da Indústria 4.0. Este modelo baseia-se no CMMI (*Capability Maturity Model Integration*), trata-se de um modelo consolidado pela literatura utilizado para avaliar a maturidade, permitindo avaliar seus pontos fortes e fracos em relação à tecnologia e um conjunto de oportunidades oferecidas às empresas quanto a transformação digital.

Os autores agruparam em áreas, levando em consideração atividades que geram valor dentro da indústria, que neste caso consiste em cinco áreas principais: 1) Design e Engenharia; 2) Gestão da Produção; 3) Gestão da Qualidade; 4) Gestão da Manutenção e 5) Gestão da logística.

Cada área é constituída por macroprocessos chave, que são de extrema relevância ao analisar as práticas e a capacidade das indústrias. Para avaliar o desempenho digital, quatro dimensões foram definidas pelos autores: 1) Processo; 2) Monitoramento e Controle; 3) Tecnologia e 4) Organização. Foi realizado um questionário estruturado através das áreas de processo do modelo DREAMY, avaliando a capacidade da empresa de acordo as dimensões.

As questões foram padronizadas e estruturadas de acordo com o aumento do nível de maturidade, sendo avaliadas através de uma pontuação que vai de 1 (nível mais baixo) ao 5 (nível mais alto), porém o autor não deixa claro como avaliou esta pontuação.

O modelo mostra-se mais completo quanto à consolidação do modelo, tendo em vista que foi aplicado em três empresas. Porém, tem a oportunidade de englobar outras áreas que não foram adicionadas neste modelo, tais como, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Vendas, Marketing, Atendimento ao Cliente, entre outras áreas, proporcionando a ampliação do escopo para a análise do modelo.

2.4.3 Modelo “Industrie 4.0 Maturity Index”

O modelo proposto por Schuh et al. (2017) e desenvolvido por ACATECH - *The National Academy of Science and Engineering*, tem como objetivo transformar a organização em um modelo ágil e de aprendizagem, permitindo a tomada de decisão rápida e a adaptação dos negócios em todas as áreas.

Segundo IEDI (2018), a ACATECH foi líder no desenvolvimento de programa para CPS identificando quatro campos para a aplicação do CPS tais como: Energia (*smart grids*); Mobilidade (mobilidade urbana); Saúde (diagnósticos remotos); Indústria de Transformação (Indústria e produção com sistemas inteligentes).

O modelo tem como foco o desenvolvimento da organização através de estágios. Seis dimensões foram propostas nesta pesquisa: 1) Informatização; 2) Conectividade; 3) Visibilidade; 4) Transparência; 5) Capacidade Preditiva e 6) Adaptabilidade.

Segundo Schuh et al. (2017), a metodologia desenvolvida é resultado da formulação de um roteiro digital para todas as áreas relevantes, bem como um passo a passo a ser alcançado, beneficiando os gestores quanto ao desenvolvimento estratégico.

Foi desenvolvido um questionário com respostas de múltipla escolha para identificar o nível que a empresa está ligada aos seis estágios de desenvolvimento (RAJNAI; KOCSIS, 2018).

Como uma proposta futura do modelo, os autores disponibilizam o mesmo e os resultados do estudo para desenvolver ferramentas e melhores práticas para auxiliar as organizações. Porém, não consta este questionário no arquivo e não há informações detalhadas quanto as respectivas perguntas, o que não permite a avaliação e análise sobre o aprofundamento sobre os critérios e análises utilizados no modelo.

2.4.4 Modelo “Indústria 4.0-MM”

O modelo proposto por Gökalp et al. (2017), baseia-se nas dimensões do SPICE (*Software Process Improvement and Capability Determination*), onde as dimensões estabelecidas são: 1) Gerenciamento de Ativos, 2) Governança de Dados,

3) Gerenciamento de Aplicativos, 4) Transformação de Processos e 5) Alinhamento Organizacional.

Além disto, serão estabelecidos 6 níveis: Nível 0 (incompleto) é quanto as práticas parcialmente alcançadas ou que não há implementação; Nível 1 (realizado), práticas correspondentes são alcançadas, bem como a transição da infraestrutura para a indústria 4.0, mas não é totalmente implementado. Nível 2 (gerenciado) é descrito como a iniciação da dados coletados, mas que ainda não está integrada nas diversas operações, Nível 3 (estabelecido) é caracterizado como atividades de negócio, definição de operações de valor agregado, qualificações das operações e processos com a padronização correspondente nestes requisitos, além da sincronização das informações, armazenamento dos dados coletados, integração vertical, através de sensores e atuadores, o sistema ERP foi implementado; Nível 4 (previsível) este quesito contempla a integração horizontal, incluindo a integração da produção na rede, bem como a integração da cadeia de abastecimentos (informações são disponibilizadas em tempo real) e Nível 5 (otimizado) é a integração com a engenharia e o ciclo vida do produto, compartilhando e sincronização das informações. Além disso, as principais características das dimensões relacionadas a este modelo são:

- Gerenciamento de Ativos: corresponde aos sistemas de TI da organização e aos recursos tecnológicos, tais como, arquitetura orientada a serviços, computação em nuvem, segurança de TI, IoT e redes sem fio industriais.
- Governança Dados: este nível investiga o uso de coleta de dados, análise dos dados e ferramentas como Big Data e serviços orientados por dados.
- Gerenciamento de Aplicativos: a utilização de aplicativos para a Indústria 4.0 é necessária, e desta forma, esta dimensão aborda as interfaces e o fluxo de informações de aplicativos que devem ser estruturados, conectados, padronizados, controlados e interoperáveis (capacidade de um sistema se comunicar com o outro).
- Transformação do Processo: esta dimensão aborda os processos básicos quanto sistema corporativo que envolve: Planejamento, Aquisição, Produto, Venda e Distribuição.
- Alinhamento Organizacional: corresponde a gestão das empresas quanto ao desenvolvimento da estrutura organizacional e sobre a estratégia de negócio.

Ainda de acordo com os autores, o modelo possui diversos benefícios, mas não há detalhamento de como será feita a avaliação deste modelo, além de não contemplar os critérios a serem utilizados para a validação, o que oportuniza melhorias para o modelo em questão.

2.4.5 Modelo “Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)”

O modelo M2DDM proposto por Weber et al. (2017) consiste em seis níveis que são representadas da seguinte forma:

Nível 0 - Integração de TI inexistente: Neste nível não estão integrados os equipamentos de fabricação, como máquinas, ferramentas e peças de trabalho;

Nível 1 - Integração de dados e sistemas: refere-se à integração de dados, as máquinas são integradas e gerenciadas pelo sistema MES (*Manufacturing Execution System*), as ordens de produção são gerenciadas por *Enterprise Resource Planning System* e são diretamente conectados com o MES, sendo ágil ao alocar os recursos;

Nível 2 - Integração de dados entre ciclos de vida: os dados durante a fabricação também são integrados aos dados de negócios, como pós-venda, logística e nas mídias sociais. Isto também pode ser feito manualmente, através de planilhas de dados e de dados armazenados (data warehouse);

Nível 3 - Orientação para Serviço: tem a implementação do SOA - *Serviceoriented Architectures* (refere-se à comunicação entre o sistema cliente e ao sistema serviços), além de contemplar com a eliminação da comunicação ineficiente, os dados dos sistemas empresariais e de chão de fábrica são integrados e trocados através de um serviço corporativo, utiliza-se análise simples para dados específicos e são salvos em um banco de dados.

O autor ainda complementa que uma forma mais avançada seria a utilização de uma topologia de comunicação que seja capaz de integrar vários serviços (barramentos de serviço), que tratam de falhas de comunicação, como o SITAM (refere-se na integração e análise de trabalhadores no ambiente inteligente, incluindo recomendações de tecnologia para a implementação).

Nível 4 - *Digital Twin*: a comunicação é através da cooperação dos ativos na fábrica, este desenvolvimento ainda está no caminho quanto ao autocontrole descentralizado dos ativos no chão de fábrica. Define que o modelo de dados

descreve múltiplos ativos que forma o modelo de dados, e assim formam a inteligência holística (é uma abordagem sobre o gerenciamento de TI que se preocupa em visualizar e tratar um sistema de computador complexo de maneira individual), permitindo o autocontrole descentralizado.

O *digital twin* deve integrar uma plataforma central, de forma que algumas decisões específicas do ser humano devem se basear na plataforma centralizada para monitorar os ativos descentralizados e autônomos (permitindo intervenções controladas para o caso de ativos inteligentes não tratados);

Nível 5 - Fábrica Auto Otimizadora, este nível possui análise avançada em tempo real integrados ao feedback entre trabalhadores e máquinas (permite também uma autoaprendizagem) com o auxílio de sensores, Big Data, sistema em nuvem, além de complementar com análise de borda (é uma abordagem de coleta e análise de dados sendo através de dados captados pelos sensores (ou outro dispositivo) em vez de esperar que os dados sejam enviados de volta, possui um armazenamento de dados centralizado).

Pode-se observar que falta informações quanto ao desenvolvimento do modelo, principalmente como será aplicada, os critérios para a avaliação além da falta das dimensões para auxiliar na avaliação do modelo, o que também irá gerar oportunidades de melhoria para o mesmo.

2.4.6 Modelo “The IoT Technological Maturity Model”

O modelo proposto por Jæger e Halse (2017), possui 8 níveis de maturidade definidos da seguinte forma:

Nível 1: 3.0 de Maturidade: é quando a organização atinge a terceira revolução, principalmente quanto a possibilidade de uso de código de barras no ambiente de produção, radio frequência, armazenamento, mas com funcionalidade limitada, além de contemplar com o sistema ERP (normalmente operado manualmente com uma comunicação limitada). Outra característica deste nível é a utilização de pelo menos um robô;

Nível 2: Maturidade inicial para 4.0: possui pelo menos um objeto habilitado para 4.0, possui também a comunicação vertical entre robôs, máquinas e sistemas de

TI. Além disso, os produtos podem ser programados, acessados e gerenciados através de um dispositivo remoto conectado à Internet;

Nível 3: Conectado: neste nível, a organização possui entre dois a nove dispositivos relacionados a Indústria 4.0, com objetos habilitados com a comunicação vertical, que se comunicam indiretamente através de um sistema de controle externo da organização, além de possuir a comunicação em nuvem, sendo capaz de armazenar os dados capturados pelos sensores IoT, arquivos, programas e serviços de terceiros através de um navegador da Web;

Nível 4: Aprimorado: neste nível, os ativos podem se comunicar horizontalmente, algumas operações foram automatizadas, como por exemplo, robôs, máquinas e sistemas de TI conectados na rede de produção. Neste quesito, os robôs ou transportadores podem pelo menos fazer uma operação específica como na entrada ou saída do armazém;

Nível 5: Inovação: a principal característica para este nível é ter um controle da cadeia de suprimentos, tendo pelo menos 10 ativos (produtos ou objetos) da IoT, tendo a capacidade da comunicação horizontal e a comunicação vertical, além de contemplar com objetos habilitados para a Indústria 4.0, tendo a capacidade de autoconsciência (reconhece seu status, estrutura ou qualquer modificação), além de contemplar a automatização no ambiente de produção e/ou armazém, substituindo trabalhos manuais por robôs. Outra característica é a padronização dos parâmetros (protocolos sem fio, padrões de dados entre outros), facilitando na comunicação entre os ativos (refere-se sobre a interoperabilidade: capacidade de interação entre os ativos);

Nível 6: Integrado: a organização possui serviços da IoT habilitados na Indústria 4.0 com a comunicação direta com os seres humanos dentro da organização. Também possui a capacidade de gerenciamento do ciclo de vida, incluindo serviços, auto reparo e recursos, tendo a capacidade de aprender novas experiências, isto ocorre pelo fato do processo (robôs, máquinas e produtos) estarem conectados e integrados na produção, trocando vários tipos de informações, e melhorando nas operações. O ambiente de produção é altamente automatizado com robôs que executam um alto número de operações, substituindo os trabalhos manuais. Além disso, deve-se gerenciar os dados gerados através da IoT e a organização entende as informações relevantes dentre os dados analisados;

Nível 7: Extensivo: a organização abrange a rede externa no ambiente de produção, e o armazenamento de dados possui um alto grau de automatização, a organização muda o gerenciamento de dados para o gerenciamento do Big Data (onde avalia a veracidade dos dados apoiada com a tomada de decisões);

Nível 8: Maturidade 4.0: este nível representa a maturidade da Quarta Revolução Industrial, faz-se uso da IoT, captação de dados através de sensores integrados em tempo real, onde se tem a comunicação entre os objetos, complementando com o ambiente de produção e os depósitos são automatizados. Outra característica deste nível é quanto a melhoria contínua junto com *Business Intelligence* (analisa os dados da organização para que possa tomar uma decisão eficaz trazendo grandes benefícios para a organização, principalmente para análise de negócios), possibilitando o monitoramento quanto ao desempenho em tempo real. Neste nível, a organização poderá prever o que irá acontecer através do gerenciamento do *Big Data* (comportamento dos consumidores, tendências de marketing entre outros). Desta forma, acredita-se que novas oportunidade quanto aos processos e modelos de negócios surjam para atender as Fábricas Inteligentes.

Todos estes níveis são caracterizados gradativamente conforme o nível de tecnologia, não necessariamente só na IoT, como os autores propuseram avaliando o estado atual da organização.

De acordo com os autores, este modelo foi aplicado em quatro empresas na Noruega, porém o modelo carece de informações, como por exemplo, se houve o uso de um questionário para avaliar a situação da empresa e qual foi a forma de análise dados. Neste sentido, não há como verificar o aprofundamento da análise realizado pelos autores, o que oportuniza melhorias para o trabalho.

2.4.7 Modelo “SMMI 4.0”

O modelo SMMI 4.0 (*System Integration Maturity Model Industry 4.0*) foi abordado em dois artigos. O primeiro, realizado por Leyh et al. (2016), propõe um modelo onde a empresa identifique seu nível tecnológico (recursos de TI) quanto aos requisitos da Indústria 4.0.

Os autores levantaram dimensões que permitem que a empresa avalie seu nível de maturidade, citando quatro dimensões: Integração vertical, Integração

horizontal, Desenvolvimento de produtos digitais (produtos inteligentes) e Critérios de tecnologia transversal (tecnologias utilizadas na Indústria 4.0).

O modelo propõe cinco estágios para identificar a situação da organização, todas descritas à seguir:

- Estágio 1: Nível básico da digitalização: A empresa não aborda os requisitos quanto a Indústria 4.0 ou são parcialmente atendidas;
- Estágio 2: Digitalização entre setores: A empresa está ativamente envolvida quantos aos requisitos da Indústria 4.0;
- Estágio 3: Digitalização horizontal e vertical: A empresa já implementou a digitalização horizontal e vertical, e os requisitos da Indústria 4.0 já foram implementados além do fluxo de informações serem automatizadas;
- Estágio 4: Digitalização completa: A empresa foi totalmente implementada com a digitalização, integrando as redes de valor, sendo que as estratégias corporativas são seguidas e realizadas quanto aos requisitos da Indústria 4.0;
- Estágio 5: Digitalização completa otimizada: A empresa é um modelo quanto ao desenvolvimento das atividades da Indústria 4.0, desenvolvendo fortemente seus parceiros de negócios, e com isto, otimizando sua rede de valor. Além disso, através destas colaborações, novos modelos de negócios e soluções de ponta a ponta são desenvolvidos.

No segundo artigo, para a continuação do trabalho, os autores aplicaram o questionário do modelo que pode ser usado como ferramenta para as empresas identificarem seus respectivos pontos fortes, pontos fracos e seus níveis de maturidade. Além disso, o artigo apresenta equações para calcular os níveis de maturidade com base nas respostas do questionário.

2.4.8 Modelo “Industry 4.0 Maturity Model”

Os autores Schumacher, Erol e Sihn (2016), propuseram um modelo empírico que avalia a maturidade da Indústria 4.0, tendo como foco as tecnologias desenvolvidas nos aspectos organizacionais. Este modelo possui 9 dimensões que estão sendo representadas da seguinte forma: “Produtos”, “Clientes”, “Operações”, “Tecnologia”, “Estratégia”, “Liderança”, “Governança”, “Cultura” e “Pessoas”.

De acordo com Schumacher, Erol e Sihn (2016), a ferramenta se apresenta como prática, sendo fácil de utilizar, além de ter sido testada por várias empresas, onde as mesmas enviaram o questionário por e-mail. Quanto as respostas do questionário, foram avaliadas através de um *software* que calcula e representa o nível de maturidade que a empresa está situada, resumida em um relatório constituído por onze páginas.

Ainda que a auto avaliação aos itens de maturidade seja um método válido a ser conduzido, as empresas não possuem o conhecimento necessário sobre a Indústria 4.0 para se auto avaliarem (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016).

Porém, de acordo com Gökalp et al. (2017), este estudo é apenas uma pequena parte sobre maturidade na Indústria 4.0. O estudo não apresenta informações sobre a estrutura do modelo (como questionário) e não há informações detalhadas sobre as dimensões, oportunizando melhorias para o mesmo.

2.4.9 Modelo “The Digital Maturity Model 4.0”

O modelo proposto por Gill e VanBoskirk (2016) é um resultado de vários anos de pesquisa, tendo como objetivo auxiliar as empresas a atingirem os níveis mais altos da maturidade quanto à digitalização. As dimensões propostas são: 1) Cultural; 2) Organização; 3) Tecnologia e 4) Insight. Cada uma destas dimensões foram avaliadas através de 7 afirmações para cada dimensão, com as respectivas respostas: 0- Discordo completamente, 1- Discorda um pouco, 2- Concordo de alguma forma, 3- Concordo completamente.

Os níveis são descritos da seguinte forma com seus respectivos tópicos:

Nível 1: Céticos: Empresas atrasadas tecnologicamente, com receios quanto às inovações;

Nível 2: Adotantes: Possuem mais prática digital que os Céticos e se mostram mais dispostos para investirem em tecnologias básicas;

Nível 3: Colaboradores: Empresas que independentemente do tamanho, possuem colaboradores dispostos e interessados em inovar;

Nível 4: Diferenciados: Empresas com foco inteiramente digital, com grande habilidade no marketing digital, gestão e atendimento ao cliente (GILL; VANBOSKIRK, 2016).

Segundo Rajnai e Kocsis (2018), os critérios propostos no modelo *The Digital Maturity Model 4.0* podem variar de acordo com o segmento da empresa. O modelo foi direcionado para a aplicação em diversos países, porém o mesmo não indica quais países, além disto, não apresenta os resultados.

2.4.10 Modelo “Manufacturing Value Modeling Methodology”

O modelo *Manufacturing Value Modeling Methodology* (MVMM), foi desenvolvido no contexto da Indústria 4.0 por Tonelli et al. (2016) em conjunto com a Siemens. Tal modelo é baseado em 5 etapas: Mapa de Valor, Modelo de Maturidade, Análise de Lacunas e Processos, Validação e Definição das Áreas de Melhoria.

A primeira etapa, Mapa de Valor, consiste na empresa avaliar as iniciativas e impedimentos quanto ao desenvolvimento de mercado, envolvido com os objetivos estratégicos da empresa. A segunda etapa do modelo é a avaliação do modelo de maturidade MVMM, onde os autores, medem o estado atual da organização, destacando os pontos fortes e fracos da organização, baseando-se em 5 níveis para medir o estado atual, sendo eles: Nível 1: se caracteriza pelas atividades operacionais e pelo planejamento da fábrica quanto a distribuição;

Nível 2: consiste em antecipar o planejamento de suprimentos, baseando-se nas vendas existentes para tentar prever a demanda;

Nível 3: se baseia na integração da organização, integração de planos de demanda para orientar serviços de demanda antecipada;

Nível 4: se caracteriza pela excelência funcional do planejamento de suprimentos;

Nível 5: diz a respeito sobre conciliar o gerenciamento sobre o planejamento da demanda, planejamento da oferta, com o suporte da cadeia de valor, tendo uma pontuação que varia de 1 a 5, conforme os cinco níveis de maturidade.

A terceira etapa, Análise de Lacunas e Processos, baseia-se na compreensão dos dados coletados, entendendo a situação atual bem como as barreiras operacionais e as lacunas dos processos de valor, bem como a formalização de um processo padrão. Nesta etapa, é relevante rever informações sobre a situação financeira da empresa (lucratividade, vantagem competitiva, a situação dos negócios).

A Quarta etapa contempla a Validação, ou seja, onde todas as informações coletadas são harmonizadas e aplicadas com prioridade nas soluções com base nas estratégias e requisitos da empresa. A última etapa contextualiza a Definição das Áreas de Melhoria à partir de informações validadas, onde o roteiro para as intervenções identifica áreas de valor (que trazem oportunidades), alinhadas com as estratégias da empresa, associada a cada ação de implementação específica (TONELLI et al., 2016).

Foram elaboradas várias entrevistas estruturadas para que assim pudessem identificar a construção do mapa de valor em conjunto com a maturidade da empresa, alinhada com os objetivos estratégicos e práticas operacionais. Um dos aspectos inovadores deste modelo é a abordagem completa, identificando pontos fortes / fracos, metas, objetivos de negócios.

De acordo com os autores, para complementar o modelo com um estudo futuro é sugerida a inclusão de atores secundários para a coleta de dados, tendo em vista que podem influenciar na amostra. Outro ponto de melhoria será no desenvolvimento de métricas que visam medir de forma tangível a evolução das soluções dentro da ferramenta. No entanto, o trabalho não apresenta um questionário explicando a abordagem da avaliação, bem como os critérios a serem estabelecidos para a análise da situação da empresa.

2.4.11 Modelo “IMPULS - Industrie 4.0- Readiness”

O modelo desenvolvido pelos autores Lichtblau, Goericke e Stich (2015), baseia-se em seis dimensões: 1) Estratégia e Organização; 2) Fabricação Inteligente; 3) Operações inteligentes; 4) Produtos inteligentes; 5) Serviços orientados por dados e 6) Funcionários. Estas dimensões são compostas por dezoito campos, agrupadas por indicadores, com os níveis estabelecidos da seguinte forma: 0: Leigo, 1: Iniciante, 2: Intermediário, 3: Experiente, 4: Expert, 5: Alta performance.

Para avaliação, foi considerada a menor classificação das seis dimensões, e no final foi aplicada uma média ponderada nas seis dimensões com o peso estabelecido pela empresa avaliada, agrupando os cinco níveis em três grupos (iniciante, aprendizes e líderes) (RAJNAI; KOCSIS, 2018).

Os autores aplicaram o modelo *IMPULS - Industrie 4.0- Readiness* em pequenas e médias empresas na Malásia. Foi possível verificar com a aplicação, que as empresas avaliadas possuem falta de conhecimento sobre a Indústria 4.0, principalmente nas dimensões: Serviços, Fábrica Inteligente e na Estratégia e Organização. Sabe-se que a tecnologia é primordial, porém, é necessário ensinar as pessoas que o avanço tecnológico é uma estratégia comercial que corresponde à diversas vantagens estratégicas.

2.4.12 Discussão Sobre os Modelos de Maturidade na Indústria 4.0

Para contextualizar todos os modelos vistos no Capítulo 2.4, foi desenvolvido o Apêndice A, onde é possível observar que os modelos de maturidade abordados na presente seção necessitam de melhorias como a inserção dos componentes da Indústria 4.0, para que seja possível avaliar a real situação de uma Indústria 4.0.

As análises dos modelos foram realizadas através das informações que os artigos disponibilizaram, onde alguns autores definiram como níveis e outros, como dimensões. Além disso, é possível observar que os artigos não levaram em conta todos os componentes contextualizados sobre a Indústria 4.0, como por exemplo, recursos voltados para a segurança da informação, sistemas de gerenciamento do ciclo de vida do produto, produtos inteligentes e infraestrutura inteligente.

Verifique-se assim, que os modelos apresentados não trazem todas as informações necessárias para analisar a maturidade da Indústria 4.0, tendo em vista que o tema vem sendo construído, bem como seus conceitos, características e componentes o que mostra a necessidade de melhoria e evolução dos modelos.

Desta forma, para avaliar os componentes identificados na revisão de literatura, foi desenvolvido o Quadro 5, que representa a legenda para a compreensão do Apêndice B, que tem como objetivo verificar se os 11 modelos encontrados na revisão de literatura possuem os principais componentes da Indústria 4.0.

Quadro 5 - Legenda

DESCRIÇÃO	ÍCONES
Não tem este item.	X
Tem, porém, precisa ser melhorado.	▲
Tem de maneira fundamentada e discutida.	■

Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 1 contempla os resultados obtidos após a análise do Apêndice B, onde é possível observar que apenas 18% dos modelos abordados apresentam todos os componentes que contemplam a Indústria 4.0 de maneira fundamentada e discutida, conforme o Capítulo 2, enquanto os demais artigos não contemplam todos os componentes ou ainda carecem de uma discussão mais profunda sobre o tema.

Tabela 1 - Análise dos principais componentes da Indústria 4.0 nos 11 modelos de maturidade

Ícones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	76%	36%	32%	60%	56%	60%	56%	60%	84%	72%	56%
▲	8%	4%	0%	4%	36%	12%	4%	32%	16%	8%	12%
■	16%	60%	68%	36%	8%	28%	40%	8%	0%	20%	32%

Fonte: Autoria própria (2019).

Para complementar o Apêndice B, o Apêndice A exibe uma análise estendida dos 11 modelos analisados, onde 63,64% dos modelos não apresentaram método de avaliação, bem como os critérios para a avaliação do questionário; 72,72% consolidaram o modelo proposto através de aplicação; 90,9% não disponibilizaram os questionários; 72,72% apresentam perspectiva futura quanto a melhorias do modelo/artigo. De maneira geral, os modelos estudados não apresentam detalhes sobre seu desenvolvimento, bem como os critérios estabelecidos para mensurar os resultados obtidos após a aplicação do questionário.

Desta forma, o presente trabalho pretende a partir desta análise a desenvolver um modelo de maturidade que atenda o contexto da Indústria 4.0, considerando os componentes, de forma que possa suprir as necessidades de analisar os níveis de maturidade de uma indústria no contexto 4.0.

2.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Com base no que foi exposto no decorrer deste capítulo, é possível verificar que o arcabouço teórico sobre histórico, conceitos, características, componentes e modelos de maturidade sobre Indústria 4.0, auxiliarão a responder à pergunta de partida do presente trabalho, bem como auxiliarão no cumprimento do objetivo geral.

Primeiramente, foi realizada a revisão de literatura para compreender as características e depois os componentes da Indústria 4.0, como descrito na seção 2.3. Após entender as características do contexto da Indústria 4.0, iniciou-se buscas através da revisão de literatura quanto aos modelos de maturidades desenvolvidos na Indústria 4.0, de forma a compreender as abordagens e pontos a serem melhorados.

Por meio destas revisões, foram levantadas características para desenvolver os níveis de maturidade no cenário da Indústria 4.0.

Com isso, verificou-se no decorrer deste capítulo, a consolidação dos objetivos específicos: a) Identificar as características pertinentes à Indústria 4.0; b) Estabelecer os componentes da Indústria 4.0, com base na literatura multiáreas; c) Identificar modelos de maturidade existentes no contexto da Indústria 4.0; d) Relacionar os componentes e os modelos de maturidade voltados para a Indústria 4.0.

Por fim, após compreender o contexto da Indústria 4.0, dar-se á início a construção do modelo de maturidade proposto no Capítulo 1, objetivo principal deste trabalho.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia realizada no presente trabalho, bem como a caracterização desta pesquisa. Além disto, será apresentada o método de análise sistemática de literatura realizada no Capítulo 2, que teve como intuito o levantamento das características, dos componentes da Indústria 4.0 e modelos de maturidade realizados na Indústria 4.0. Na sequência, será apresentada a metodologia utilizada para a construção do modelo de maturidade.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Quanto à natureza, esta pesquisa pode ser classificada como exploratória, pois de acordo com Turrioni e Mello (2012), a pesquisa bibliográfica ou a revisão de literatura construí o projeto de pesquisa, no qual não pode deixar de lado nenhuma obra importante para o tema específico, sendo definida como exploratória. Além disto, a abordagem exploratória, possui duas fases, a qualitativa e a quantitativa. Quanto a abordagem qualitativa, refere-se ao explorar o tema de pesquisa para auxiliar na fase quantitativa (MIGUEL, 2012).

Quanto ao método de pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada, pois tem como abordagem o interesse prático, ou seja, que os resultados sejam aplicados ou utilizados para solucionar problemas que ocorrem na realidade (TURRIONI; MELLO, 2012). Sendo assim, a presente pesquisa também pode ser considerada aplicada, pois pretende fornecer uma avaliação do estado atual da indústria diante do cenário da Indústria 4.0 e prover sugestões para o seu avanço tecnológico.

Quanto à coleta de dados segundo Turrioni e Mello (2012), “A pesquisa descritiva “delineia o que é” e visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis”. Desta forma, a presente pesquisa também pode ser classificada como descritiva, pois foram realizadas intensivas pesquisas com as palavras-chave e várias combinações, com o objetivo de desenvolver um modelo mais completo e estruturado. E utilizou-se o questionário como instrumento de pesquisa, afim de coletar dados para avaliar a maturidade das indústrias diante do contexto da Indústria 4.0.

A Quadro 6, descreve de forma resumida a classificação da pesquisa.

Quadro 6 - Caracterização da Pesquisa

Caracterização da Pesquisa	
Quanto à natureza	Exploratória
Quanto à método de pesquisa	Aplicada
Quanto à coleta de dados	Descritiva

Fonte: Autoria própria (2019).

Desta forma o presente estudo, buscou fundamentos teóricos, com o objetivo compreender e descrever a Indústria 4.0 e seus componentes para desenvolver um modelo de maturidade neste contexto. a metodologia para o complemento do capítulo 2 será apresentada a seguir.

3.2 METODOLOGIA PARA A CONSTRUÇÃO DA BASE TEÓRICA DO MODELO DE MATURIDADE PARA A ANÁLISE DO SETOR INDUSTRIAL NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0.

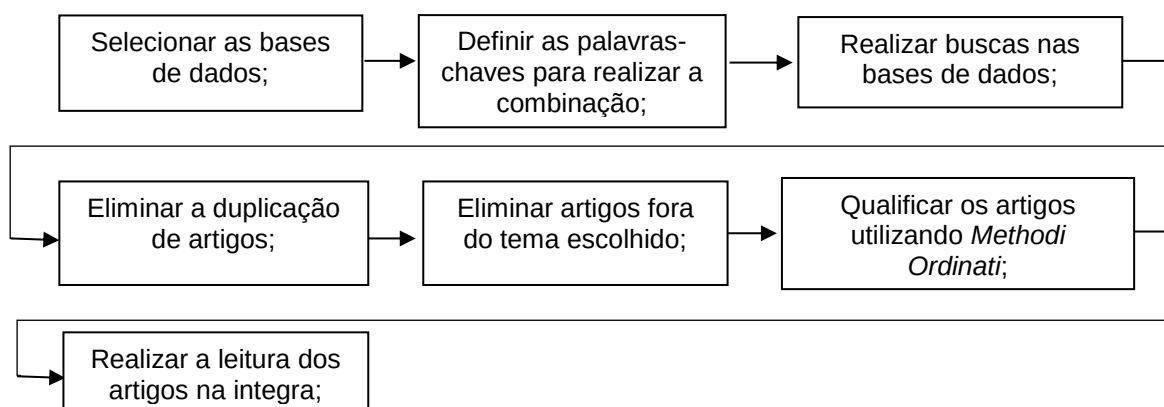
3.2.1 Construção do Portfólio Bibliográfico

Para compor o Capítulo 2, foi necessário fazer uma revisão de literatura para a Indústria 4.0 e para os Modelos de Maturidade na Indústria 4.0, como será apresentado a seguir.

3.2.2 Procedimentos para a Realização da Revisão de Literatura

Para realizar a análise sistemática de literatura sobre Indústria 4.0 e sobre os modelos de maturidade, foi utilizado o *Methodi Ordinati*, que de acordo com Pagani, Kovalski e Resende (2015), consiste basicamente em classificar os artigos de maior relevância para o trabalho. A sequência para a realização da revisão de literatura está ilustrada na Figura 7.

Figura 7 - Sequência da Análise Sistemática de Literatura



Fonte: Adaptado Pagani, Kovalesski e Resende (2015).

Para a realização desta pesquisa, foram selecionadas as bases *Web of Science* e *Scopus* sobre o tema selecionado. A utilização destas duas bases de dados se justifica através de um documento sobre “Considerações sobre Qualis Periódicos” (2016), disponível no portal CAPES, onde os periódicos indexados na base de dados JCR (o JCR permite identificar nos periódicos indexado na *Web of Science*) são classificados de A1 a B2 de acordo com indicador (FIR') e os periódicos indexados na base *Scopus* e que não estão na base JCR, são classificados no estrato B3, ou seja, foram utilizadas bases que compõem artigos de maior classificação sobre o tema.

O documento complementa com a seguinte citação:

Os veículos que não constam da base JCR, nem da base *Scopus*, são manualmente classificados nos estratos B4, B5, C e NPC, a partir da análise de suas abrangências, políticas editoriais e corpos editoriais (Considerações sobre Qualis Periódicos, 2016).

Para as buscas preliminares foi utilizada a ferramenta de nuvem de palavras (*wordcloud*), afim de proporcionar uma melhor visualização dos termos mais utilizados nesta temática. O resultado obtido é apresentado na Figura 8.

Tabela 2 - Informações relevantes para Análise Sistemática de literatura na base *Web of Science*

COMBINAÇÃO DE PALAVRAS CHAVES	<i>"Industry 4.0"</i>	<i>"Industrie 4.0"</i>	<i>"Advanced Manufacturing"</i>	<i>"Industrial Internet"</i>	<i>"Smart Manufacturing"</i>	<i>"Fourth Industrial Revolution"</i>	<i>"Manufacturing Innovation 3.0"</i>	<i>"China 2020"</i>	<i>"Industrie du Futur"</i>
<i>"Internet Of Things"</i>	368	46	28	418	88	72	1	0	0
<i>"Big Data"</i>	181	17	14	58	57	37	1	0	0
<i>"Information Security"</i>	7	0	1	5	1	0	0	0	0
<i>"Robotic"</i>	39	1	35	3	11	9	0	0	0
<i>"Simulation"</i>	148	16	209	51	53	13	0	0	0
<i>"Systems Integration"</i>	6	0	4	0	5	0	0	0	0
<i>"Cloud Computing"</i>	87	9	21	36	25	21	0	0	0
<i>"Augmented Reality"</i>	43	7	3	9	6	7	0	0	0
<i>"Additive Manufacturing"</i>	23	5	116	3	7	4	0	0	0
<i>"Maturity"</i>	13	5	8	5	3	0	0	0	0
<i>"Key Performance"</i>	5	3	4	0	5	0	0	0	0
<i>"Assessment"</i>	56	6	78	11	20	12	0	0	0
Subtotal					2669				

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 3 - Informações relevantes para Análise Sistemática de literatura na base Scopus

COMBINAÇÃO DE PALAVRAS CHAVES	<i>“Industry 4.0”</i>	<i>“Industrie 4.0”</i>	<i>“Advanced Manufacturing”</i>	<i>“Industrial Internet”</i>	<i>“Smart Manufacturing”</i>	<i>“Fourth Industrial Revolution”</i>	<i>“Manufacturing Innovation 3.0”</i>	<i>“China 2020”</i>	<i>“Industrie du Futur”</i>
<i>“Internet Of Things”</i>	601	106	52	669	152	122	0	0	0
<i>“Big Data”</i>	259	35	27	94	94	59	0	0	0
<i>“Information Security”</i>	10	1	4	6	3	1	0	0	0
<i>“Robotic”</i>	127	10	222	13	54	33	0	0	0
<i>“Simulation”</i>	205	25	389	95	97	22	0	0	0
<i>“Systems Integration”</i>	29	4	20	8	18	1	0	0	0
<i>“Cloud Computing”</i>	137	13	43	81	48	27	0	0	0
<i>“Augmented Reality”</i>	67	9	6	9	11	6	0	0	0
<i>“Additive Manufacturing”</i>	48	12	180	4	14	7	0	0	0
<i>“Maturity”</i>	37	17	9	10	11	7	0	0	0
<i>“Key Performance”</i>	9	2	4	0	7	0	0	0	0
<i>“Assessment”</i>	105	18	162	25	46	20	0	2	0
Subtotal					4880				
Web of Science									
+					7549				
Scopus									

Fonte: Autoria própria (2019).

Para estabelecer as palavras chaves para as combinações, foi necessário a realização de uma busca prévia para consultar quais palavras estavam-se utilizando, e desta forma, fazer as combinações, de forma a englobar uma grande quantidade de sinônimos ao que se refere a Indústria 4.0.

Para realizar a pesquisa de maneira consistente e abrangente, foi necessário definir as palavras-chave com base nos principais componentes e fundamentos da Indústria 4.0. Posteriormente, foram realizadas exaustivas pesquisas com as palavras-chave e várias combinações, com o objetivo de desenvolver um modelo mais completo e estruturado.

Após a combinação das palavras-chave e a definição dos critérios a serem utilizados para as buscas, todos os artigos resultantes das palavras-chaves foram agrupados e exportados para o *Software Mendeley*, obtendo um resultado de 7549 artigos.

Foram aplicados os seguintes critérios para a análise:

- a) Eliminar artigos em duplicidade;
- b) Eliminar livros;
- c) Eliminar artigos fora do tema estudado;
- d) Aplicar *Methodi Ordinatio*.

Foram descartados 3259 artigos duplicados, 158 livros, restando 4132 artigos para ser analisados. Destes 4132 artigos, foi realizada a leitura de títulos e resumos, tendo como objetivo descartar os artigos que não se alinhavam com o tema, e desta forma, foi obtido um portfólio final de 58 artigos. A Tabela 4 resume os resultados obtidos nesta fase.

Tabela 4 - Resumo dos critérios utilizados

Filtros	Saídas	Resultados
Total de artigos (nas duas bases)	-	7549
Artigos duplicados	-3259	4290
Livros	-158	4132
Eliminação por títulos	-2866	1266
Eliminação por resumo	-1208	58

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com Pagani, Kovalski e Resende (2015), o *Methodi Ordinatio* apresenta critérios para selecionar artigos científicos, o *Index Ordinatio (InOrdinatio)*, classifica os artigos de acordo com sua relevância científica, levando em consideração o fator de impacto da revista em que o jornal foi publicado, número de citações e o ano de publicação. Assim, os 58 artigos foram submetidos ao *Methodi Ordinatio*

buscando o fator de impacto de cada artigo através de cada periódico, o ano através do artigo e o número de citação através do *Google Scholar*®. A Equação 1, baseia nos fatores de maior relevância como já foi descrito.

$$InOrdinatio = (Fi / 1000) + \alpha * [10 - (APe - APu)] + (\sum Ci) \quad (1)$$

Fonte: Pagani, Kovaleski e Resende (2015).

Onde:

Fi: Fator de impacto do periódico;

α : Coeficiente atribuído pelo pesquisador, normalmente 10;

APe: Ano de realização da pesquisa;

APu: Ano de publicação de artigo;

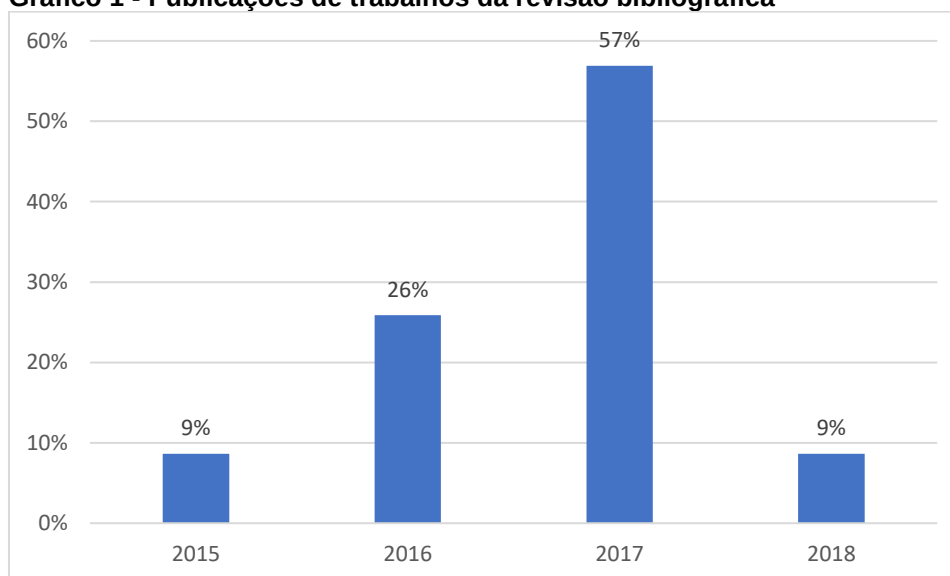
Ci: Número de citação do artigo em outros estudos.

Para agrupar todos os artigos, foi utilizado o *Software Mendeley*, e para realizar a extração de dados como por exemplo, título, autores, ano de publicação, foi utilizado o *JabRef*®, que atua como intermediário para extração dos dados. Após esta etapa, os dados foram adicionados e organizados em planilhas eletrônicas da *Microsoft Excel*®.

Os artigos de conferência foram utilizados na aplicação do método *InOrdinatio*. Como esses artigos não possuem fator de impacto, torna-se difícil a aplicação do mesmo, tendo em vista que o método ranqueia artigos de maior relevância para o desenvolvimento da pesquisa. Os artigos de conferência foram considerados para a análise, devido a relevância do tema para o presente estudo.

Desta forma, optou-se por não eliminar nenhum dos artigos do portfólio final, devido ao número obtido de artigos após a aplicação da filtragem, tendo em vista que foi utilizado 58 artigos para a definição do referencial teórico, além de ser complementados com outros artigos de referência. O Apêndice C apresenta dados de cada artigo do portfólio final com a ordenação do método descrito decrescente. Foram adicionados neste Apêndice C alguns artigos que apresentaram maior relevância e que fizeram parte do referencial teórico (sendo destacado no apêndice os artigos adicionados).

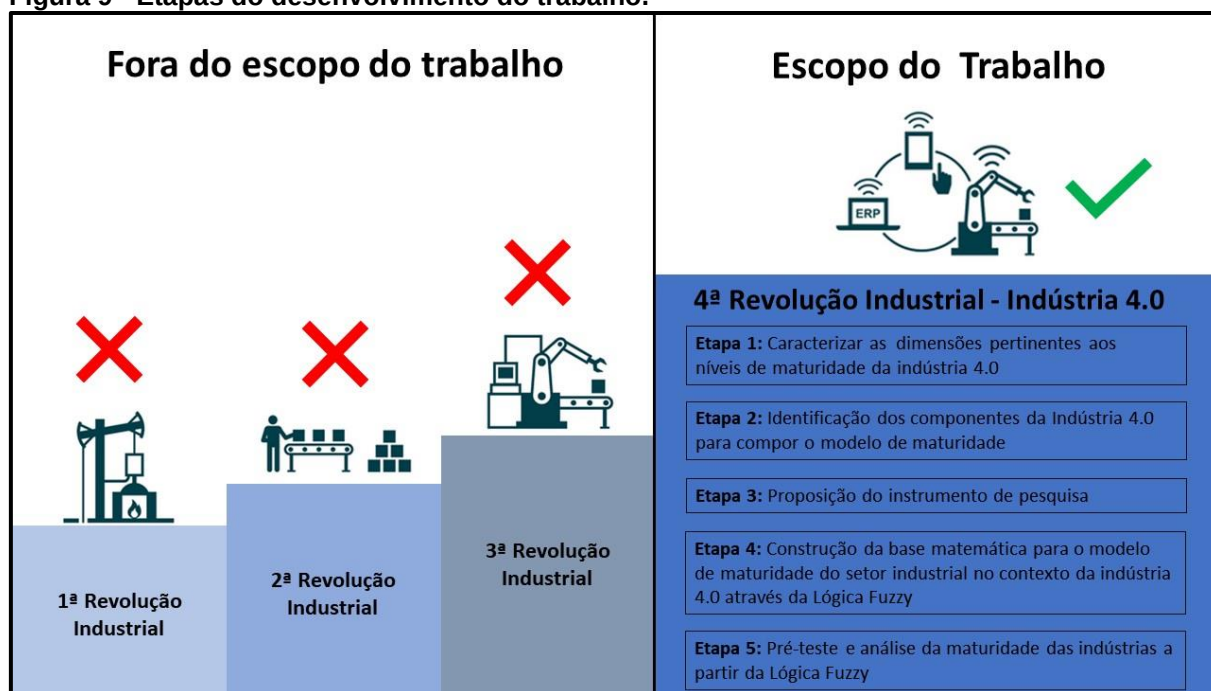
A partir da Gráfico 1 é possível visualizar a distribuição dos 58 artigos, e assim verificar o crescente aumento de publicações de trabalhos sobre Indústria 4.0 em relação aos anos anteriores.

Gráfico 1 - Publicações de trabalhos da revisão bibliográfica

Fonte: Autoria própria (2019).

Embora não tenha sido definido um corte temporal, é possível verificar que nesta análise, os artigos que mais se alinharam referente a este tema, ganharam peso a partir de 2017 representando 57% do portfólio final.

A Figura 9 sintetiza as etapas que serão realizadas para o escopo do desenvolvimento do presente trabalho.

Figura 9 - Etapas do desenvolvimento do trabalho.

Fonte: Autoria própria (2019).

A seguir será apresentada a proposta do modelo, conforme a Figura 9.

3.3 PROPOSTA DO MODELO DE MATURIDADE PARA INDÚSTRIAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Para considerar os objetivos deste trabalho e com base nas necessidades identificadas no referencial teórico do Capítulo 2, pretende-se desenvolver um modelo de maturidade que possa atender as necessidades de uma indústria que esteja no contexto da Indústria 4.0, e desta forma, avaliar o nível de maturidade das indústrias diante deste novo cenário. A seguir, será proposto o modelo a partir do fluxograma apresentado na figura 9.

Etapa 1: Caracterizar as dimensões pertinentes aos níveis de maturidade da Indústria 4.0.

Através de intensas pesquisas para a estruturação do modelo de maturidade, foi identificado o modelo CMMI (*Capability Maturity Model Integration*), o qual é um modelo consolidado pela literatura, tornou-se reconhecido internacionalmente e transformou-se em referência mundial para avaliar a maturidade nas empresas e indústrias em diversos segmentos (MAGNO et. al., 2011). Além disto, foi possível observar através da revisão de bibliográfica que o modelo *Dreamy*, proposto por Carolis et al. (2017), é um dos mais estruturados dentre os modelos pesquisados, no qual também desenvolve seus níveis de maturidade baseando-se no modelo CMMI.

Segundo Duarte (2017) e Groffe (2013), o modelo CMMI, foi desenvolvido pelo SEI (*Software Engineering Institute*), no qual é um órgão que faz parte da universidade norte-americana, Carnegie Mellon, que avalia 5 níveis de maturidade, onde cada nível representa um processo de aperfeiçoamento da empresa, como mostra no Quadro 7.

De acordo com os autores Duarte (2017) e Groffe (2013), cada nível de maturidade representa um estágio evolutivo, em cada nível apresenta um conjunto de objetivos pré-determinadas, onde cada estágio serve como base para se possa atingir o próximo nível.

Quadro 7 - Níveis de maturidade proposto pela universidade norte-americana Carnegie Mellon

Nível 1 - Inicial	Processos imprescindíveis, pouco controlados e reativos
Nível 2 - Gerenciado	Processos são caracterizados por Projeto e as ações são frequentemente reativas.
Nível 3 - Definido	Processos são caracterizados para Organização e são proativos.
Nível 4 - Gerenciado Quantitativamente	Processos são medidos e controlados.
Nível 5 - Otimização	Foco Contínuo na Melhoria de Processos.

Fonte: Adaptado por Duarte (2017).

Desta forma, quando cada nível de maturidade for alcançado pela indústria, significará que a mesma estará evoluindo na maturidade de seus processos que neste trabalho refere-se aos componentes da Indústria 4.0.

Para o desenvolvimento deste trabalho, será utilizado como inspiração o modelo CMMI, onde os níveis de maturidade representam o status da indústria dentro do contexto da Indústria 4.0. Tais níveis variam de 1 (nível baixo) a 5 (nível alto), que são representados da seguinte forma: Nível 1 - Crítico, Nível 2 - Alerta, Nível 3 - Aceitável, Nível 4 - Ótimo, Nível 5 - Ideal.

Para cada nível foram alocadas quatro dimensões, onde as principais características estão descritas de forma evolutiva, como consta no Apêndice D. As dimensões são:

- **Tecnologia:** Esta dimensão refere-se às questões da Indústria 4.0 voltadas à digitalização das informações, englobando todas as tecnologias.
- **Processo:** Refere-se às tecnologias que deverão compor o processo de transformação do produto, bem como os recursos utilizados para a integração dos processos industriais.
- **Produção:** Esta dimensão envolve diversos recursos que compõem o desenvolvimento de produtos.
- **Estratégia da Organização:** Contempla os incentivos e investimentos em desenvolvimento tecnológico e qualificação dos colaboradores.

Faz-se importante mencionar que as dimensões apresentadas foram construídas a partir de pesquisas apresentadas no Capítulo 2 e será importante para o desenvolvimento do modelo, tendo em vista que a partir das dimensões e respectivas características apresentadas para cada nível, será construído o instrumento de pesquisa, conforme será explanado a seguir.

Etapa 2: Identificação dos componentes da Indústria 4.0 para compor o modelo de maturidade.

A próxima etapa será identificar todos os componentes necessários para serem mensurados através do questionário e assim poder construir um modelo capaz de identificar a maturidade da indústria no contexto da Indústria 4.0. A partir do Capítulo 2, foi elaborado o Quadro 8 com a descrição dos componentes e que foram mensurados no questionário, com as descrições de cada fator, tendo como base o Capítulo 2 da Fundamentação Teórica.

Quadro 8 - Principais componentes a serem mensurados no questionário

Nº	DESCRIÇÃO	AUTORES
1	CPS (Cyber-Physical System): é caracterizado por possuir máquinas inteligentes, sistema de armazenagem e um sistema de produção que possui trocas de informações de forma autônoma e inteligente.	Posada et al. (2015) e Kang et al. (2016)
2	IoT (Internet of Things): Contemplada por sensores, software e a comunicação entre as máquinas e as linhas de produção, permitindo a coleta e a troca de dados através dos sensores inteligentes, além de ser habilitado a analisar os dados com a integração do CPS e Cloud Manufacturing (CM).	Kang et al. (2016) e Weber et al. (2017)
3	IoS (Internet of Service): Internet voltada a serviços, com base na disponibilidade de serviços/produtos através da tecnologia web, que permite aos usuários combinar, criar e oferecer novos tipos de serviços com valor agregado.	Hofmann e Rüsç (2017)
4	Computação em nuvem (Cloud Manufacturing): O conceito de Cloud Manufacturing refere-se ao seu modo operacional, onde os provedores fornecem seus recursos de fabricação, que são transformados em serviços, logo após, agrupados em uma plataforma em nuvem, ou seja, o cliente acessa a plataforma, solicita os requisitos do produto como design e testes, além de gerenciar todas as etapas do ciclo de vida do produto.	Li e Xu (2017)
5	Fog Computing (computação em névoa): é um complemento do Cloud Manufacturing, foi desenvolvida com foco nos dispositivos que estão na borda da rede, com o objetivo de estar mais próximo do usuário e assim descentralizada, por isto o nome de nevoeiro, uma nuvem que está mais próxima dos usuários.	Grüdtner (2017)
6	Inteligência Artificial: Com base na área da ciência da computação, a inteligência Artificial possui como caracterização, simular a capacidade humana de raciocinar, perceber, resolver e tomar decisões.	Fernandes et al. (2018)
7	Segurança da Informação (Information Security): É caracterizado pela proteção de dados, com o objetivo de preservar as informações de uma organização (empresa) ou um indivíduo.	Giacomeli (2015).

8	Sistemas embarcados: Realiza um conjunto de tarefas pré-definidas.	Wang et al. (2016); Thoben, Wiesner e Wuest (2017)
9	Gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM - Product Lifecycle Management): PLM é um sistema que gerencia o ciclo de vida do produto de forma ágil, desde a concepção do produto até a retirada no mercado.	Stark (2015)
10	Manutenção Inteligente (Smart manufacturing - SM): Este modelo de manutenção será proativo, prevenindo eventualidades.	Thoben, Wiesner e Wuest (2017)
11	Fabricação Aditiva (3D - Tridimensional): Auxilia na otimização de tempo e redução de custo para a fabricação dos produtos, permite desenvolver um objeto físico a partir de um modelo digital.	Li e Xu (2017); Kang et al., 2016). Cossetti (2018)
12	Simulação: Para realizar uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponda à situação real que se deseja simular.	Teixeira (2015)
13	Holograma: É uma imagem tridimensional (3D) obtida através da projeção da luz sobre figuras bidimensionais (2D). Essas imagens são formadas através de ondulação da luz (onde os raios de luz se movimentem e simule a realidade do que está sendo projetado).	Amorim (2018)
15	Realidade aumentada (AR - Aumented Reality): É conjunto de tecnologias que sobrepõe dados, imagens digitais em objetos em ambientes físicos.	Porter e Heppelmann (2017)
16	Realidade Virtual (VR - Virtual Reality): Simula um ambiente virtual, através de um sistema computacional.	Coutinho (2017)
17	Produtos inteligentes (smart production): A ideia sobre produtos inteligentes é de que o produto faça parte do sistema, e dessa forma, deve-se implantar um recurso de armazenamento para que os dados sejam armazenados, e desta forma, o produto solicitará recurso caso haja necessidade.	Weyer et al. (2015)
18	Smart sensores (sensores inteligentes): É um dispositivo que recebe dados do ambiente físico e usa recursos computacionais internos para executar funções predefinidas após a detecção de entrada de dados específicos e depois processa os dados antes de transmiti-los.	Rouse (2015)
19	CLP (Controlador Lógico Programável ou Programmable Logic Controller - PLC): É um sistema que comanda de forma automática a execução de funções específicas por maquinário industrial, sem a necessidade de comandos humanos diretos.	Gomes (2017)
20	Rede industrial: Onde ocorre o "transporte" dos dados através dos protocolos, desta forma a informação é transferida de uma máquina para outra.	Souza (2012)
21	Integração vertical: Significa o conjunto de sistemas de produção em rede e permite que o CPS seja utilizado para criar sistemas de fabricação flexíveis e a reconfiguração fabril.	Li e Xu (2017); Leyh et al. (2016) e Posada et al. (2015)
22	Integração horizontal: É a integração das redes de valor, onde acontecem a troca e o gerenciamento de informações através da tecnologia (informações de diferentes agentes dentro do processo produtivo como por exemplo logística e a cadeia de valor), a integração do fluxo de informação é necessário ao longo da empresa horizontal, assim como além das fronteiras da empresa.	

22	Integração de ponta a ponta: Refere-se à engenharia em um todo, onde se acompanha as etapas do ciclo de vida do produto (exemplo concepção do produto, fabricação e cliente).	
23	M2M (machine to machine): É a comunicação entre máquinas.	Neto et al. (2018)
24	Estratégia de mercado: É criar/desenvolver um valor ao cliente, de forma a prosperar e conseguir lucros.	Porter (1996)
25	Marketing 4.0: é um marketing de maior precisão, obtendo conteúdo de maior relevância, valor e interação em tempo real com o cliente.	Roblek; Meško e Krapež, (2016)

Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme verificado, o Quadro 8 é composto pelos componentes apontados no Capítulo 2 (Quadro 4), adicionados a outros componentes construídos a partir da literatura. Com isso, além dos 9 componentes referenciados pela literatura (Quadro 4), adicionou-se mais 16 componentes, totalizando 25 componentes baseados na literatura voltadas à multiáreas.

Os 16 componentes construídos a partir da literatura multiáreas apresentados neste trabalho são de extrema relevância para a contribuição na academia, pois foram analisados 58 a partir da revisão de literatura além outros relevantes artigos. Sendo assim, o Quadro 8 torna-se um dos produtos deste trabalho, atendendo o objetivo específico (letra b) proposto no Capítulo 1

Desta forma, pode se observar através do Apêndice F que o modelo proposto denominado MMI4 (*Maturity Model for Industry 4.0*) atende aos 25 componentes analisados nos modelos de maturidade encontrados na revisão de literatura.

Etapas 3: Proposição do instrumento de pesquisa.

Nesta etapa, será proposta o instrumento de pesquisa. Neste sentido, será necessário para a composição do modelo, objetivo geral deste trabalho, a coleta de informações das indústrias para analisar os níveis das mesmas no contexto da indústria 4.0. Neste sentido, seria possível utilizar a entrevista, observação ou mesmo o questionário como instrumento/técnica para obtenção dos dados.

Para este trabalho, optou-se pelo questionário como instrumento para coleta de dados, por suas vantagens em relação aos demais instrumentos como por exemplo: entrevista, registro institucionais e observação (DEBOIS, 2017). Além disso, o questionário possui como vantagem, a liberdade de tempo para os respondentes, replicabilidade, exatidão nas respostas, praticidade e o anonimato da indústria

participante. Neste sentido, através da revisão de literatura, foi possível elaborar o questionário, no qual avaliará a situação atual da indústria quanto ao nível de maturidade no contexto da Indústria 4.0.

Junto ao questionário foram elaboradas perguntas, visando a classificação do porte da indústria. Para isso, foram utilizados os critérios de classificação do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). De acordo com o Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais (2013), a classificação adotada pelo Sebrae tornou-se uma referência nacional brasileira, no qual considera o porte das empresas de acordo com o número de trabalhadores, sendo o mesmo critério de classificação adotado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), como pode ser observado no Quadro 9.

Quadro 9 - Definição do porte da empresa

PORTE	INDÚSTRIA
Microempresa (ME)	Até 19 empregados
Empresa de Pequeno Porte (EPP)	De 20 a 99 empregados
Empresa de Médio Porte	De 100 a 499 empregados
Grandes Empresas	500 ou mais empregados

Fonte: Adaptado de SEBRAE (2013).

Apresentado o instrumento de pesquisa que será utilizado no trabalho, além das características das dimensões de cada nível de maturidade, verificados nas etapas anteriores e mostrado no Apêndice D e ainda os componentes da Indústria 4.0 (Quadro 8), será proposto o questionário para avaliar os níveis de maturidade.

Para a construção do questionário, foi solicitado o apoio multidisciplinar do grupo de pesquisa EORE e ainda o apoio multiáreas de professores de áreas correlatas a Indústria 4.0, tais como Engenharia da Computação, Analista de Sistemas, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e a Engenharia de Produção. Este apoio teve o objetivo de verificar a qualidade e coerência das questões propostas no questionário.

O questionário está disponível no Apêndice E, onde são apresentadas as informações referentes ao Quadro 8 e o Quadro 9. Através do Quadro 8 é possível identificar a descrição de cada item que está disponível no Apêndice E.

Percebe-se que o questionário foi composto por 28 perguntas, onde cada uma possui 5 respostas diferentes, com uma pontuação que varia de 1 a 5 baseando-se nos níveis já descritos, onde cada pontuação refere-se à resposta de acordo com o estágio evolutivo da indústria na busca pela análise da maturidade no contexto da Indústria 4.0.

Estas 28 perguntas foram categorizadas em quatro dimensões: Tecnologia, Processo, Produto e Estratégia da Organização. A seguir será apresentado a Etapa 4 do trabalho, ou seja, a base matemática do modelo de maturidade do setor industrial no contexto da indústria 4.0.

Etapa 4: Construção da base matemática do modelo de maturidade do setor industrial no contexto da indústria 4.0 através da Lógica Fuzzy.

Para a aplicação do questionário proposto anteriormente, será necessário aplicá-lo a partir de uma base matemática. Através da revisão de literatura, constatou-se que para a contemplação dos componentes da Indústria 4.0, a análise dos dados precisa ser linear, pois o peso para cada dimensão é igualmente importante, ou seja, possuem a mesma importância para a identificação do modelo de maturidade. Desta forma, os pesos são considerados um por um, diferentemente dos métodos multicritérios já conhecidos na literatura, como por exemplo AHP, ELETRE e PROMETHEE, onde cada dimensão pode receber pesos diferentes com base na avaliação do decisor (LEITE; FREITAS, 2012).

Com a finalidade de identificar o nível de maturidade das indústrias no contexto da Indústria 4.0, os dados obtidos através do questionário serão tratados e analisados com os conceitos da Lógica Fuzzy. A seguir será apresentado a justificativa para a utilização da Lógica Fuzzy.

- Justificativa para utilizar a Lógica Fuzzy

A teoria dos conjuntos Fuzzy visa converter a subjetividade dos termos linguísticos para valores numéricos (LOPES, 2009). Com ela, é possível “simular o processo de raciocínio humano e tomar decisões baseadas em dados vagos e imprecisos” (GANGA, 2010).

Uma das justificativas para se utilizar a lógica *fuzzy* é o fato de a mesma considerar a subjetividade e a experiência dos profissionais, sendo capaz de identificar informações imprecisas, descritas na forma de linguagem (variáveis linguísticas), sendo convertidas em formato numérico, permitindo na prática, modelar a subjetividade das palavras, refletindo na forma como as pessoas pensam, resultando na conversão dos estímulos em respostas ou medidas em ações para

controle. A utilização da Lógica Fuzzy, traz como consequência nas pesquisas, tornando-as mais humanas e adequadas para a realidade, como por exemplo em sistemas inteligentes (LANZILLOTTI; LANZILLOTTI, 1999; RENTERIA, 2006; MARRO et al. 2015).

Desta forma, é na área da Inteligência Artificial que a Lógica Fuzzy tem a representação mais adequada do conhecimento, principalmente ao lidar com as incertezas, termos vagos e ambíguos, permitindo para o campo de sistemas computacionais inteligentes, “raciocinar”, considerando as incertezas do processo realístico e o tornando mais “humano” (MARRO et al. 2015).

Segundo Lanzillotti e Lanzillotti (1999), a Lógica Fuzzy tem sido aplicada principalmente nas áreas de Engenharia Elétrica, Inteligência Artificial, Planejamento Estratégico e Ciências da Computação. Esta ferramenta torna-se promissora, principalmente nas áreas de Engenharia e Tecnologia e é fundamental na área da Engenharia de Produção, tendo em vista que as informações utilizadas no processo de tomada de decisão podem ser incertas.

De acordo com Zadeh (1973), as variáveis linguísticas são sentenças de uma linguagem natural, e desta forma, se para cada palavra se denomina x e para a linguagem natural L , pode ser descrita como um subconjunto fuzzy $M(x)$ de um universo de discurso U , sendo que $M(x)$ representa o significado de x . A linguagem pode ser atribuída como palavras, frases e sentenças para os subconjuntos fuzzy de U (MALVEZZI, 2010).

Desta forma, a Lógica Fuzzy é construída a partir de quatro passos: 1. Fuzzyficação, 2. Base de Regras, 3. Inferências e 4. Defuzzyficação.

PASSO 1: Fuzzyficação. A fuzzyficação, é um termo utilizado para indicar a utilização da Lógica Fuzzy, e é um processo de conversão da entrada de uma variável fuzzy. É importante a participação de um ou mais especialistas da área em questão no passo 1, os quais serão responsáveis pela atribuição de variáveis linguísticas de entrada em cada conjunto fuzzy de pertinência (AMORIM, 2007).

PASSO 2: Base de Regras. Quanto ao que se refere à base de regras, é o conhecimento do especialista, que estão compostos por fatos, regras, conceitos e relações (AGUIAR; OLIVEIRA, 1999).

PASSO 3: Inferências. A etapa de inferência, refere-se ao processamento do conhecimento, que é estabelecido por um consenso, desta forma, com base nas regras fuzzy (passo 2), a cada entrada fuzzy o método de inferência produz uma saída

fuzzy que indica o controle que deve ser adotado (AGUIAR; OLIVEIRA, 1999; FERREIRA; JAFELICE, 2012).

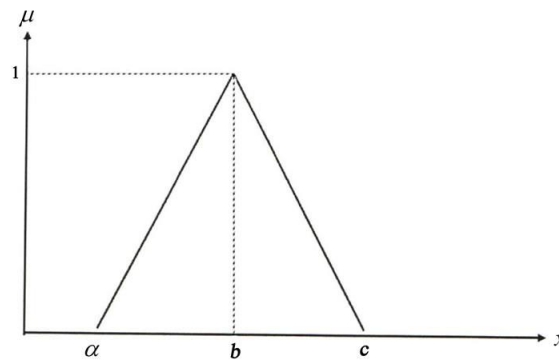
PASSO 4: Defuzzyficação. Esta etapa transforma o conceito linguístico, obtido no passo 3, em um valor numérico definido (variável *crisp*), utilizada como saída efetiva para a Lógica Fuzzy (GANGA, 2010).

Para este trabalho, será utilizado o número fuzzy triangular, que segundo Renteria (2006) e Marro et al. (2010), é o mais utilizado e fornece uma representação adequada quanto aos conhecimentos do especialista e simplifica significativamente o processo de computação (o tempo computacional é menor do que os outros).

O número fuzzy triangular é representado por três pontos e expresso por $A = (a, b, c)$, sendo tratado como função de domínio $[0,1]$. Esta expressão é interpretada na Equação 2 e sendo representada pela Figura 10.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (2)$$

Figura 10 - Número fuzzy triangular



Fonte: Adaptado de Lan (2010).

Segundo Yazdani et al. (2017), os números triangulares fuzzy $\tilde{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ podem ser convertidos em valores *crisp* (processo de defuzzificação) usando a Equação 3 a seguir:

$$x = \frac{(a + 2b + c)}{4} \quad (3)$$

Para este trabalho foi utilizado a escala de cinco pontos com um intervalo de $[1,5]$, com suas respectivas nomenclaturas que variam de acordo com seu estágio evolutivo, baseando-se no modelo CMMI, conforme já informado anteriormente. O

Quadro 10 apresentará a escala linguística dos números triangulares fuzzy que será utilizada para o tratamento dos dados.

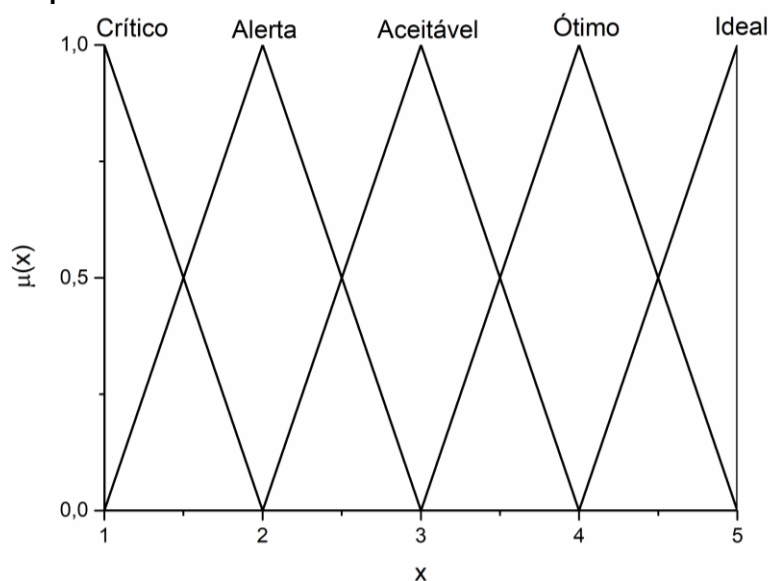
Quadro 10 - Escala linguística de Números Triangulares Fuzzy

Escala Linguística	Nomenclatura	Números Triangulares Fuzzy		
		a	b	c
Crítico	Nível 1	1	1	2
Alerta	Nível 2	1	2	3
Aceitável	Nível 3	2	3	4
Ótimo	Nível 4	3	4	5
Ideal	Nível 5	4	5	5

Fonte: Adaptado de Ganga, Carpinetti, Politano (2011).

O Gráfico 2 representa um número fuzzy triangular utilizado para o tratamento dos dados nesta pesquisa, onde o eixo x (eixo das abcissas) estão os valores das variáveis: a , b e c e o eixo y (eixo das coordenadas) está representado o grau de pertinência (também pode ser chamado de grau de associação) que varia de 0 a 1 no eixo y para cada valor atribuído de x .

Gráfico 2 - Critérios para fuzzificar valores discretos atribuídos aos elementos para a avaliação



Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com Rheingantz (2002) quanto ao que se refere aos graus de pertinência (eixo Y):

- Quando o valor da variável for igual a 1, ela é absolutamente pertinente;
- Quanto mais próximo o valor da variável estiver de 1, maior é sua pertinência;
- Quanto mais próximo o valor da variável estiver de 0, menor é a sua pertinência;
- Quando o valor da variável for igual a 0, ela não pertence ao conjunto analisado.

O Quadro 11, apresenta as variáveis linguísticas e os respectivos intervalos.

Quadro 11 - Variáveis linguísticas e os respectivos intervalos

Escala Linguística	Nomenclatura	Intervalo numérico
--------------------	--------------	--------------------

Crítico	Nível 1	[1,2]
Alerta	Nível 2	[1,3]
Aceitável	Nível 3	[2,4]
Ótimo	Nível 4	[3,5]
Ideal	Nível 5	[4,5]

Fonte: Autoria própria (2019).

Para exemplificar como será a análise dos dados, será apresentado o passo a passo para a utilização da Lógica Fuzzy, utilizando dados do comando aleatório do Excel para as 7 perguntas do questionário referente a Dimensão Tecnologia.

Desta forma, para a construção do Gráfico 3, foram realizados os seguintes passos:

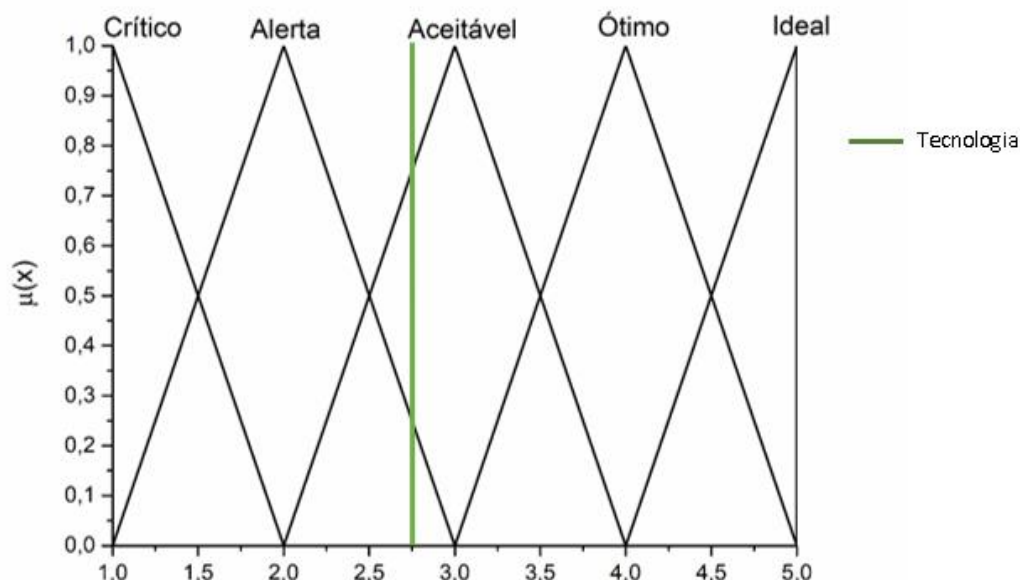
- Passo para a análise 1: Serão analisados os dados obtidos a partir da aplicação do questionário (Apêndice E).
- Passo para a análise 2: Para isso, será utilizado o Quadro 11 para o tratamento dos dados;
- Passo para a análise 3: Será aplicada a fórmula 2 para o processo de defuzzificação;
- Passo para a análise 4: Análise do resultado obtido no passo anterior, é o valor fuzzificado.

Através dos dados obtidos, será realizada uma média para identificar em qual nível a indústria está, além de se fazer uma média para identificar o nível de cada dimensão. Para exemplificar, o Gráfico 3 descreve a forma triangular da função utilizada para identificar os níveis de maturidade. Neste exemplo, será analisada a dimensão Tecnologia. As funções de associação correspondem a um conjunto difuso (Crítico, Alerta, Aceitável, Ótimo e Ideal) que caracterizam os graus de associação. Desta forma, o eixo X indica a variável de entrada, que é o resultado obtido pela indústria quanto ao nível de maturidade e o eixo Y representa o grau de associação.

No Gráfico 3, é possível observar através do eixo X, que a dimensão Tecnologia obteve o valor de 2.75. Sendo assim, essa dimensão possui graus distintos de associação, como indicado pelo traço verde no gráfico, que tange os níveis 2 e 3 sendo o eixo Y representado em porcentagens, onde Y1 representa 25% da dimensão pertence ao Nível 2 - Alerta, e o Y2 representa 75% pertence ao Nível 3 - Aceitável. Desta forma, é possível concluir que o Nível 3 - Crítico possui a maior representatividade. Esse resultado demonstra a subjetividade da Lógica Fuzzy, onde

uma dimensão não está totalmente situada em um único nível, mas sim, parcialmente em dois níveis com seus respectivos graus de associação.

Gráfico 3 - Exemplo da associação triangular da dimensão Tecnologia



Fonte: Autoria própria (2019).

Contudo, no processo de fuzzificação, precisa-se transformar as variáveis de entrada em valores difusos que são descritos através dos graus de associação e por suas funções de associação (LI, 2013).

Desta forma, para que as indústrias que almejam analisar seu respectivo nível de maturidade perante ao contexto da Indústria 4.0, devem promover iniciativas voltadas a este contexto. Além disto, conforme explicado anteriormente, caso a variável do eixo Y seja igual a 0, isto significa que a indústria analisada não pertence ao contexto da Indústria 4.0.

Contudo, toda indústria analisada precisará, caso considere pertinente, priorizar ações para a melhoria do seu nível. Contudo, só após a análise dos resultados será possível determinar ações para a priorização das melhorias quanto ao desenvolvimento para o contexto na Indústria 4.0. Estes resultados estarão disponibilizados com ações baseadas na literatura, onde a indústria deverá analisar o investimento.

Desta forma, após a realização da revisão de literatura, foi possível constatar que não foram encontrados modelos que tratam os dados com os conceitos da teoria dos conjuntos fuzzy. Nos 11 modelos de maturidade identificados através da revisão de literatura, os autores apresentam métodos alternativos para o tratamento dos dados, deixando muitos detalhes implícitos, impossibilitando uma melhor

compreensão dos métodos. Portanto, a análise dos dados através da Lógica Fuzzy apresenta-se como uma alternativa mais assertiva para avaliar o cenário inovador da Indústria 4.0. Além disso, o presente trabalho também pode ser considerado original com relação ao tratamento dos dados.

Etapa 5: Pré-teste e análise da maturidade das indústrias a partir da Lógica Fuzzy.

Para melhorar a confiabilidade sobre o questionário, foi realizado um teste piloto para a validação do mesmo, no dia 19 de Outubro de 2018, em uma turma da Pós-Graduação em Engenharia da Qualidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa, especificamente na disciplina de Indústria 4.0. Neste pré-teste participaram 8 alunos, sendo estes profissionais de diversas áreas de indústrias de grande porte no contexto da Indústria 4.0. O Quadro 12 descreve as informações coletadas de cada profissional, como o segmento das indústrias, cargo e porte da indústria (conforme o Apêndice E).

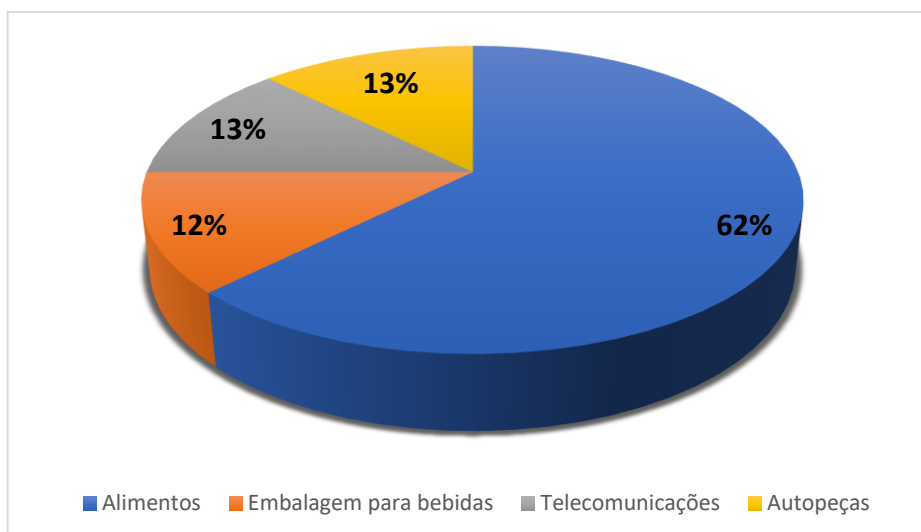
Quadro 12 - Informações coletadas no pré-teste do questionário

INDÚSTRIA	SEGMENTO DA INDÚSTRIA	CARGO ATUAL DO ENTREVISTADO	PORTE DA INDÚSTRIA
A	Alimentos	Técnico de Produção	Grande porte
B	Alimentos	Supervisor de Qualidade	Grande porte
C	Alimentos	Analista	Grande porte
D	Alimentos	Analista de Qualidade	Médio porte
E	Alimentos	Analista de Produção	Grande porte
F	Embalagem para bebidas	Assistente de Engenharia	Grande porte
G	Telecomunicações	Analista	Grande porte
H	Autopeças	Supervisor de Meio Ambiente	Grande porte

Fonte: Autoria própria (2019).

Como pode ser observado, das 8 indústrias que participaram do pré-teste, 5 são do segmento de alimentos, 1 do segmento de embalagem para bebidas, 1 do segmento de telecomunicações e 1 do segmento de autopeças, conforme o Gráfico 4.

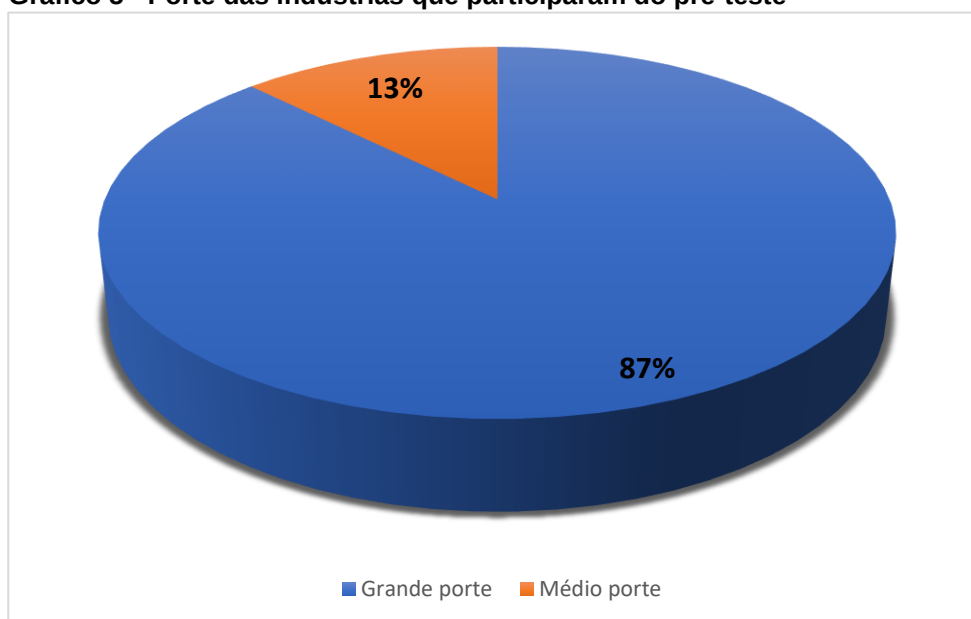
Gráfico 4 - Segmentos das indústrias que participaram do pré-teste



Fonte: Autoria própria (2019).

Além disso, é possível observar no Gráfico 5, a representação em porcentagem quanto ao porte das indústrias, sendo 87% delas de Grande porte e 13% de Médio porte.

Gráfico 5 - Porte das indústrias que participaram do pré-teste

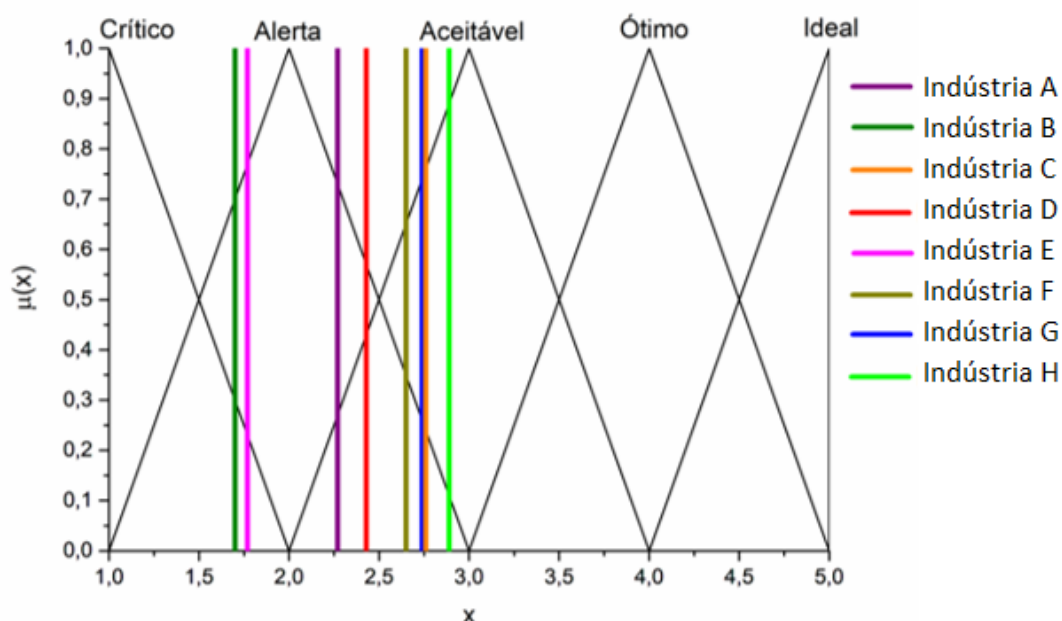


Fonte: Autoria própria (2019).

O Gráfico 6 apresenta o nível de maturidade das indústrias após a análise das respostas do pré-teste, sendo os dados tratados pela Lógica Fuzzy, conforme já contextualizado. O eixo X representa os valores de entrada, que neste caso, é o resultado obtido pela indústria após a análise dos dados, e o eixo Y representa o grau de associação (Crítico, Alerta, Aceitável, Ótimo e Ideal), sendo representado em porcentagens.

O Gráfico 6 deixa claro que as indústrias estão distantes do Nível 5 - Ideal.

Gráfico 6 - Análise do nível de maturidade das indústrias para o pré-teste



Fonte: Autores (2019).

Para uma melhor compreensão do Gráfico 6, a Tabela 5 apresenta os dados obtidos pelas indústrias após a avaliação, onde é possível observar que 50% das indústrias analisadas possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta, tais como: Indústria A, com 73%, Indústria B, com 70%, Indústria D, com 57%, Indústria E, com 77%. O restante das indústrias possui maior representatividade no Nível 3 - Aceitável: Indústria C, com 76%, Indústria F, com 65%, Indústria G, com 74% e Indústria H, com 89%.

Tabela 5 - Resultados obtidos do pré-teste das indústrias em porcentagem com seu respectivo nível

INDÚSTRIAS	EIXO X	EIXO Y1	NÍVEL	EIXO Y2	NÍVEL
A	2,27	27%	ACEITÁVEL	73%	ALERTA
B	1,70	30%	CRÍTICO	70%	ALERTA
C	2,76	24%	ALERTA	76%	ACEITÁVEL
D	2,43	43%	ACEITÁVEL	57%	ALERTA
E	1,77	23%	CRÍTICO	77%	ALERTA
F	2,65	35%	ALERTA	65%	ACEITÁVEL
G	2,74	26%	ALERTA	74%	ACEITÁVEL
H	2,84	11%	ALERTA	89%	ACEITÁVEL

Fonte: Autoria própria (2019).

Desta forma, o pré-teste teve como objetivo a aplicação do questionário proposto e apresentar ainda a análise do nível de maturidade das indústrias analisadas a partir das informações contextualizadas nele. A partir do pré-teste,

percebeu-se que as questões estavam claras e concisas e puderam atingir o objetivo proposto para a aplicação. Verificou-se ainda, a necessidade de apresentação de uma tabela onde se resumirá a análise da maturidade das indústrias. Com a colaboração dos alunos da Pós-Graduação, foi possível identificar, na aplicação, que o respondente precisa conhecer toda a indústria, para que não haja dúvidas ao responder o questionário, além de interagir com projetos voltados ao desenvolvimento da Indústria 4.0.

Contudo, para que as indústrias possam atingir a perspectiva do contexto da Indústria 4.0, os resultados obtidos precisam ser analisados pelo modelo de maturidade e planejadas estrategicamente para que possam atingir a maturidade no contexto da Indústria 4.0 (Nível 5 - Ideal).

Através da Indústria 4.0, a indústria poderá se beneficiar, caso considere pertinente, da integração dos componentes com o auxílio do CPS e da IoT, resultando em uma produção em massa altamente flexível, gestão e coordenação em tempo real, e na logística, permitirá o rastreio e manuseio com qualidade sem perda de tempo, otimização da cadeia de valor, redução de custos complexos, além de futuros modelos de negócios e serviços (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Após a aplicação do teste piloto, será apresentado a aplicação do modelo de maturidade, bem como análise e resultados em sete indústrias da região dos Campos Gerais (PR-Brasil). Serão descritas, posteriormente, as melhorias para cada indústria de acordo com nível que as mesmas apresentarem, no intuito de que cada uma possa evoluir neste contexto.

4 APLICAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE PARA AS INDÚSTRIAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0 NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS (PR - BRASIL)

Este capítulo tem por objetivo apresentar a aplicação do modelo proposto, bem como os resultados alcançados a partir da aplicação. Para isso, será dividido nas seções 4.1 e 4.2: a primeira seção será a caracterização das indústrias no contexto da Indústria 4.0, já a segunda seção será a análise da maturidade das indústrias a partir da Lógica Fuzzy.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Para caracterizar as indústrias selecionadas para a aplicação deste trabalho, faz-se importante mencionar que as mesmas estão envolvidas no contexto da Indústria 4.0. Isso é observada a partir da participação destas indústrias em grupos de estudo sobre o tema junto a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR - Ponta Grossa - PR).

Com isso, o modelo proposto foi aplicado em sete indústrias localizadas na região dos Campos Gerais, no estado do Paraná (Brasil). Entre as sete indústrias, duas pertencem ao segmento de alimentação, uma da construção civil, uma de embalagem de alimentos, uma de autopeças, uma de papel e celulose, e a última de produtos automotivos.

Para evidenciar a importância das indústrias participantes, buscou-se informações para caracterizar as mesmas. Por questão de confidencialidade as indústrias serão chamadas de A, B, C, D, E, F e G. De acordo com informações coletadas em seus respectivos sites oficiais, a Indústria A está presente em 40 países, a Indústria B está presente em 160 países, já a Indústria C é líder mundial nas áreas de fabricação e design em seu segmento, a Indústria D é a maior produtora e exportadora em seu segmento no Brasil, a Indústria E está presente em 192 países por todos os continentes. A Indústria F, além do mercado interno, está presente na Europa, Oriente Médio, Ásia, África. Por fim, a Indústria G está presente em 53 países e em 317 localidades. Outras informações serão apresentadas no Quadro 14.

Quanto ao critério de aplicação, o questionário foi aplicado a funcionários que possuem conhecimento de todos os setores da indústria e que estão ligados

diretamente no processo de desenvolvimento da Indústria 4.0 em suas respectivas indústrias. Essa necessidade foi constatada através do pré-teste. O Quadro 14 apresenta algumas informações coletadas das indústrias participantes, como o segmento, cargo do respondente e o porte das indústrias.

Quadro 13 - Informações coletadas das indústrias no questionário

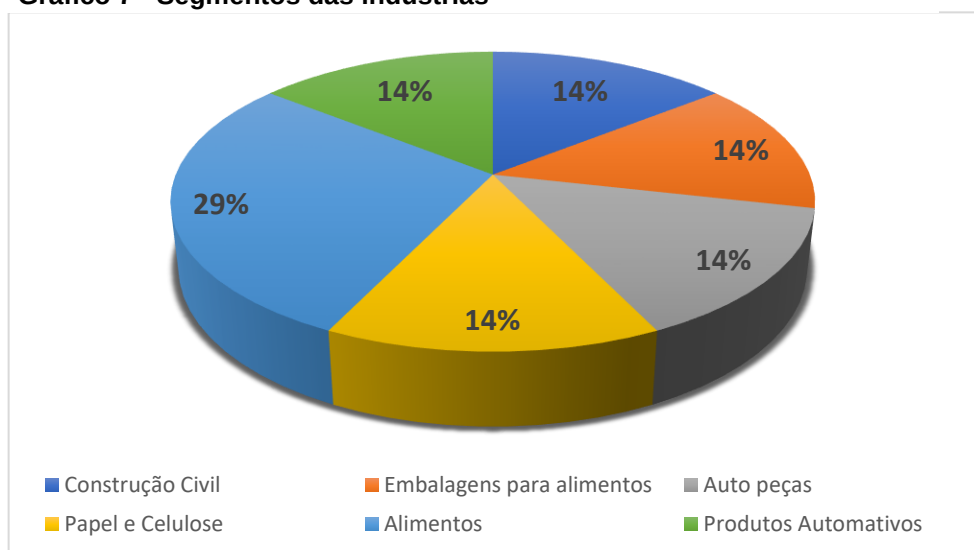
INDÚSTRIA	SEGMENTO DA INDÚSTRIA	CARGO ATUAL DO ENTREVISTADO	PORTE DA INDÚSTRIA
A	Construção Civil	Coordenador de produção	Grande porte
B	Embalagem de alimentos	Gerente de melhoria contínua	Grande porte
C	Autopeças	Especialista de negócios	Grande porte
D	Papel e celulose	Gerente de inovação	Grande porte
E	Alimentos	Técnico de processos	Médio porte
F	Alimentos	Gerente Industrial	Grande porte
G	Produtos automotivos	Supervisor de meio ambiente/ Assistente de Vendas	Grande porte

Fonte: Autoria própria (2019).

Para elucidar como foi realizada a abordagem às indústrias participantes, tem-se o seguinte roteiro: contatou-se as mesmas via e-mail através de funcionários, convidando as para a aplicação do modelo. Todas as indústrias convidadas aceitaram o convite e foram receptivas. Dessas indústrias, quatro se disponibilizaram a participar via e-mail e três responderam presencialmente. As indústrias que responderam eletronicamente demoraram em média de duas semanas para enviarem o questionário respondido, já as indústrias que responderam fisicamente levaram um tempo médio de 35 minutos para responder o questionário, não foram constatadas dificuldades por parte dos funcionários para responder o questionário.

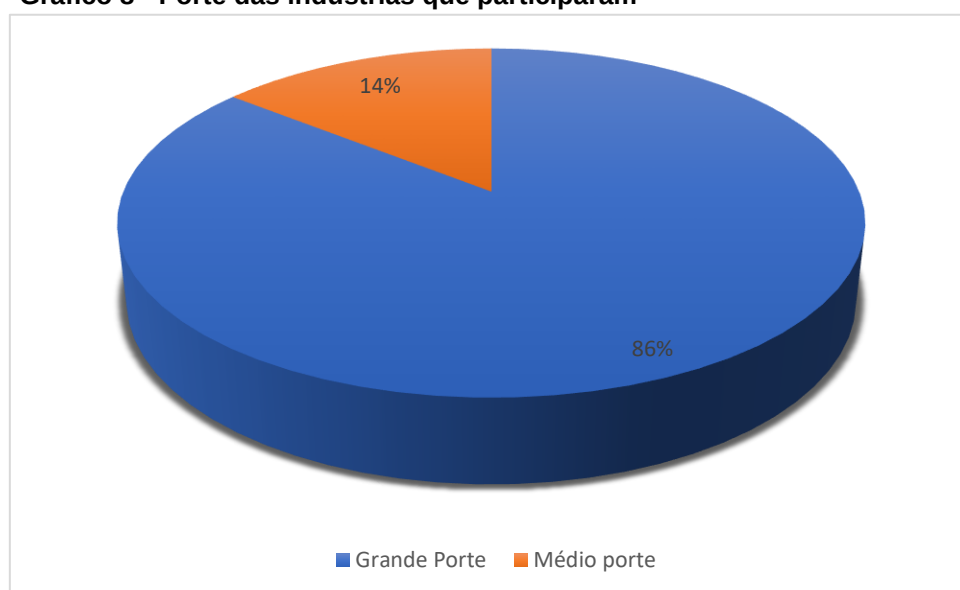
A seguir serão apresentados os resultados obtidos através da aplicação do questionário, onde foi possível avaliar o segmento e o porte das indústrias participantes.

O Gráfico 7, apresenta, em porcentagem, os segmentos das indústrias que participaram da aplicação do modelo de maturidade. Percebe-se que o segmento de alimentos é o que possui maior representatividade, com 29%.

Gráfico 7 - Segmentos das indústrias

Fonte: Autoria própria (2019).

O Gráfico 8, apresenta em porcentagem, o porte das indústrias participantes, onde 86% das indústrias são de Grande Porte, enquanto 14% se enquadram como de Médio Porte.

Gráfico 8 - Porte das indústrias que participaram

Fonte: Autoria própria (2019).

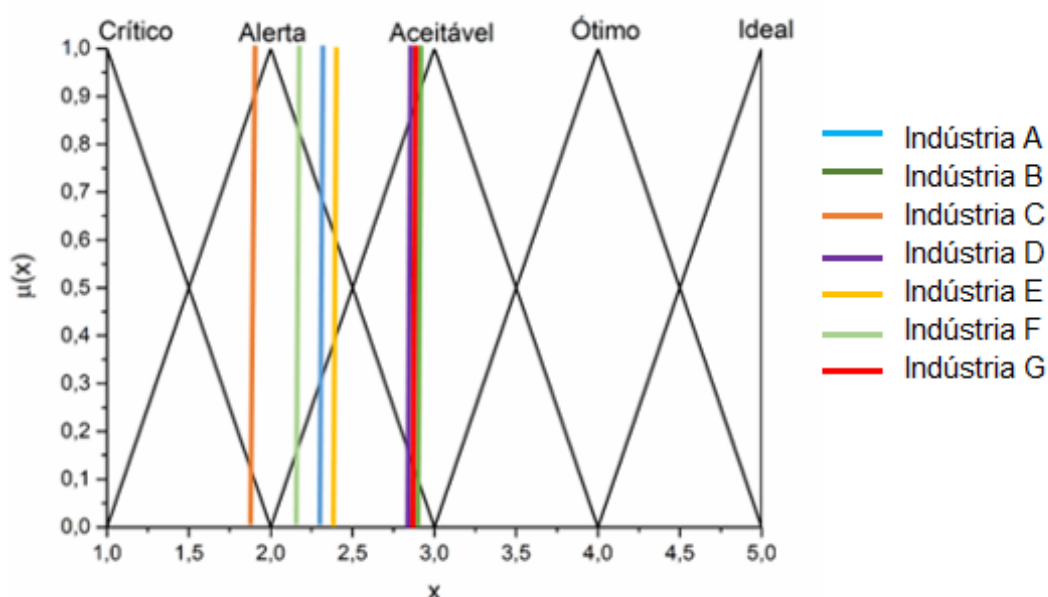
Percebe-se neste caso, que as indústrias no contexto 4.0 de maior porte estão investindo mais no contexto 4.0, através de iniciativas baseadas nos diversos componentes da Indústria 4.0.

4.2 ANÁLISE DA MATURIDADE DAS INDÚSTRIAS A PARTIR DA LÓGICA FUZZY

Nesta seção serão apresentadas as análises dos resultados obtidos através do questionário utilizando a Lógica Fuzzy, de acordo com a Etapa 5 da seção 3.3. Desta forma, será possível analisar o nível de maturidade das indústrias de modo geral e o nível de maturidade para cada dimensão.

O Gráfico 9 apresenta o nível de maturidade das indústrias de maneira geral, após a análise das respostas, utilizando a Lógica Fuzzy.

Gráfico 9 - Análise do nível de maturidade das sete indústrias



Fonte: Autoria Própria (2019).

Percebe-se no Gráfico 9 que as indústrias estão distantes de atingir o Nível 4 - Ótimo ou o Nível 5 - Ideal, onde a maioria das indústrias possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta e Nível 3 - Aceitável. Em seguida, será apresentado detalhadamente os resultados apresentados no Gráfico 9.

Para uma melhor compreensão do Gráfico 9, a Tabela 6 apresentará os dados obtidos pelas indústrias após a análise dos resultados obtidos, onde é possível observar que 57% das indústrias analisadas possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta, tais como: Indústria A com 69%, Indústria C com 96%, Indústria E com 60%, Indústria F com 83%. O restante das indústrias que se destacam e que possuem maior representatividade no Nível 3 - Aceitável são: Indústria B, com 93%, Indústria D, com 88% e Indústria G, com 89%.

Tabela 6 - Resultados obtidos da aplicação das indústrias em porcentagem com seu respectivo nível

INDÚSTRIAS	EIXO X	EIXO Y1	NÍVEL	EIXO Y2	NÍVEL
A	2,31	31%	ACEITÁVEL	69%	ALERTA
B	2,92	7%	ALERTA	93%	ACEITÁVEL
C	1,96	4%	CRÍTICO	96%	ALERTA
D	2,88	12%	ALERTA	88%	ACEITÁVEL
E	2,40	40%	ACEITÁVEL	60%	ALERTA
F	2,17	17%	ACEITÁVEL	83%	ALERTA
G	2,89	11%	ALERTA	89%	ACEITÁVEL

Fonte: Autoria Própria (2019).

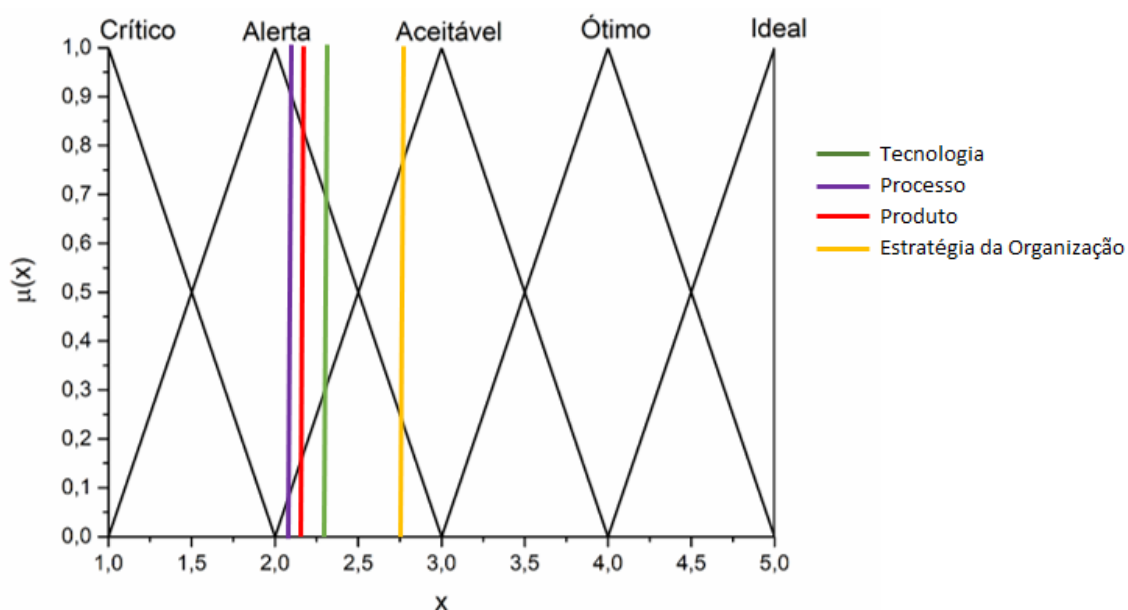
Conforme mencionado anteriormente na seção 3.3, o eixo X (eixo das abcissas) representa os valores das variáveis, onde estes dados foram coletados através do questionário e tratados na etapa da defuzzyficação. O eixo Y (eixo das coordenadas) está representando o grau de pertinência que varia de 0 a 1 para cada valor atribuído de X. Desta forma, no processo de análises utilizando números Fuzzy, cada valor de X à dois valores do eixo Y (Y1 e Y2), onde o ponto Y1 representa o menor grau de pertinência, enquanto o Y2 representa o maior. Através destes eixos é possível avaliar o grau de representatividade das indústrias para cada nível de maturidade.

Em função dos dados coletados, foi possível analisar onde cada uma das indústrias possuem maior representatividade referente ao seu nível, conforme apresentado no Gráfico 9 e na Tabela 7. Desta forma, foram analisadas as quatro dimensões (“Tecnologia”, “Processo”, “Produto” e “Estratégia da Organização”) de cada indústria, a fim de verificar o nível em que cada uma das dimensões possui maior representatividade, de acordo com as respostas obtida por cada responsável das indústrias.

Através dos gráficos e tabelas a seguir, será possível analisar a situação de cada indústria em relação as quatro dimensões.

- Análise da Maturidade da Indústria A:

O Gráfico 10 representará os resultados obtidos pela a Indústria A utilizando a Lógica Fuzzy, onde ficará evidenciado que as dimensões “Tecnologia”, “Processo” e “Produto” possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta e Nível 3 - Aceitável, estes resultados evidenciam que a Indústria A, está longe do nível ideal.

Gráfico 10 - Situação da Indústria A para cada dimensão

Fonte: Autoria Própria (2019).

A Tabela 7 detalha os resultados obtidos pela Indústria A, onde é possível observar que as dimensões “Tecnologia”, com 71%, “Processo”, com 92%, e “Produto”, com 87%, possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta. Entretanto, a dimensão “Estratégia da Organização” se destaca perante as demais e possui maior representatividade no Nível 3 - Aceitável, com 75%.

Através das respostas obtidas pelo questionário, é possível observar que a Indústria A possui mais ações voltadas para a dimensão “Estratégia da Organização” quando comparada com as demais dimensões. Este resultado é possível pois a indústria em questão possui parcialmente alguns componentes essenciais que contemplam esta dimensão, como parcerias com instituições de conhecimento, cadeia de suprimentos integrada com os setores em tempo real e fabricação sustentável (planejamento verde).

Tabela 7 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria A

DIMENSÕES	X	Y1	NÍVEL	Y2	NÍVEL
TECNOLOGIA	2,29	29%	ACEITÁVEL	71%	ALERTA
PROCESSO	2,08	8%	ACEITÁVEL	92%	ALERTA
PRODUTO	2,13	13%	ACEITÁVEL	87%	ALERTA
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	2,75	25%	ALERTA	75%	ACEITÁVEL

Fonte: Autoria Própria (2019).

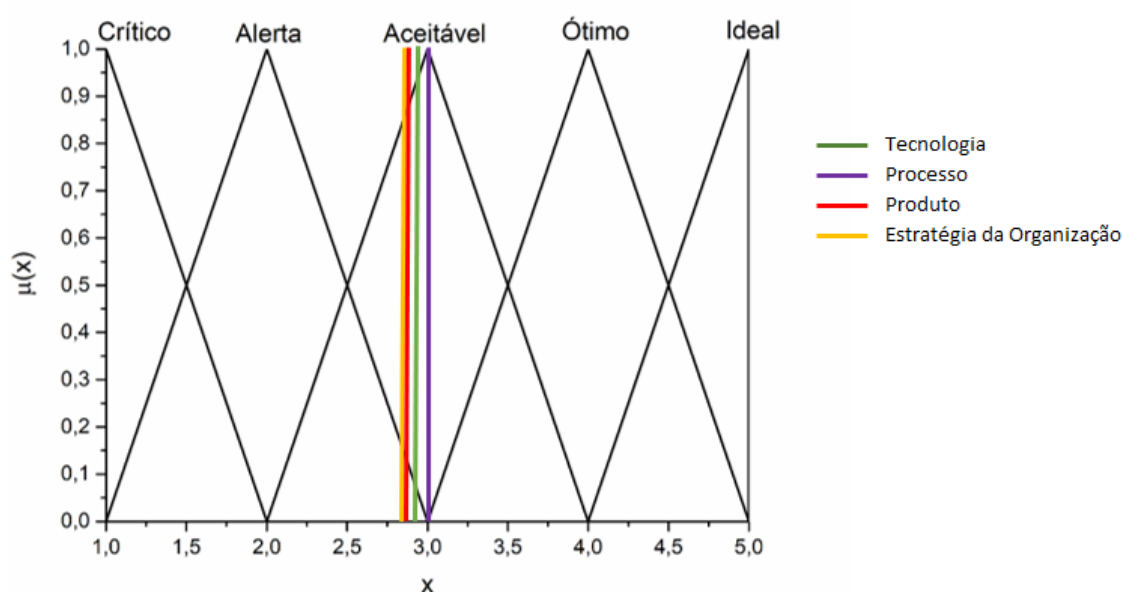
Desta forma, para a que indústria possa seguir evoluindo para os próximos níveis, é fundamental que a mesma amplie seus investimentos quanto aos

componentes no contexto da Indústria 4.0, principalmente diante das suas carências, como será explanado no Quadro 14.

- Análise da Maturidade da Indústria B:

O Gráfico 11 mostra que na Indústria B, as dimensões “Tecnologia”, “Processo”, “Produto” e “Estratégia da Organização” possuem maior representatividade no Nível 3 - Aceitável.

Gráfico 11 - Situação da Indústria B para cada dimensão



Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 8 detalha os resultados obtidos na Indústria B, sendo possível observar que todas as dimensões que possuem maior representatividade estão no Nível 3 - Aceitável, sendo “Tecnologia”, com 96%, “Processo”, se destacando, com 100%, “Produto”, com 88% e “Estratégia Organização”, com 86%.

Tabela 8 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria B

DIMENSÕES	X	Y1	NÍVEL	Y2	NÍVEL
TECNOLOGIA	2,96	4%	ALERTA	96%	ACEITÁVEL
PROCESSO	3	0%	ALERTA	100%	ACEITÁVEL
PRODUTO	2,88	12%	ALERTA	88%	ACEITÁVEL
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	2,86	14%	ALERTA	86%	ACEITÁVEL

Fonte: Autoria Própria (2019).

Pode-se observar que estrategicamente, a Indústria B possui maior representatividade no Nível 3 - Aceitável. Isso se deve ao fato da indústria em questão ter iniciado a implantação parcial de alguns componentes essenciais que contemplam

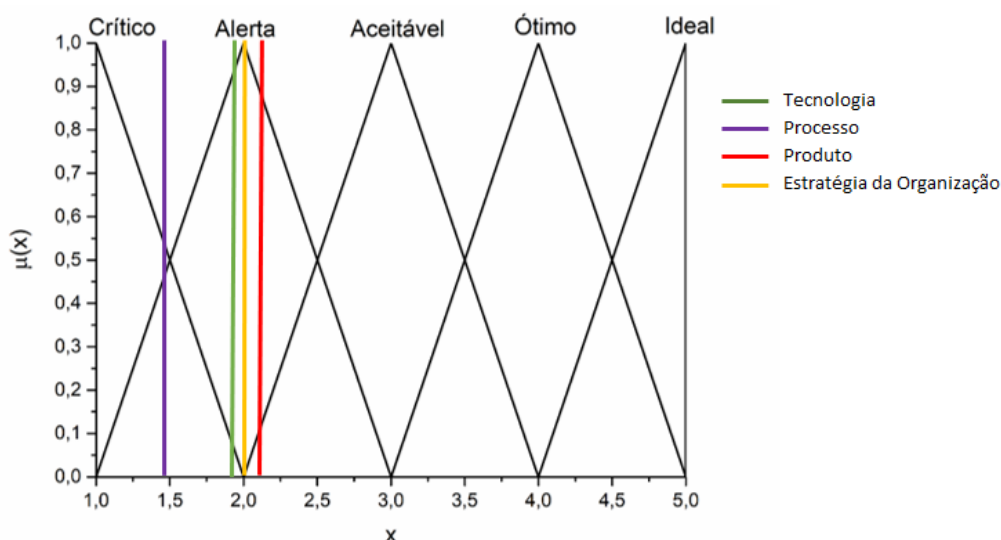
a Indústria 4.0 que foram mensurados através do questionário, como *sensores inteligentes*, *Big data/ Big Data Analysis*, *Cloud Manufacturing*, *Inteligência Artificial*, *M2M*, *Smart Grids*.

Além disto no Quadro 14 estão disponíveis sugestões para que a indústria possa avançar para o próximo nível de acordo com a análise atual das suas dimensões.

- Análise da Maturidade da Indústria C:

O Gráfico 12 representa os resultados obtidos para a Indústria C, onde é possível verificar que três das quatro dimensões possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta, sendo elas “Tecnologia”, “Produto” e “Estratégia Organizacional”.

Gráfico 12 - Situação da Indústria C para cada dimensão



Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 9 mostra que as dimensões que possuem maior representatividade são: Tecnologia no Nível 2 - Alerta, com 96%, “Processo”, com 54% para o Nível 1 - Crítico. Já as dimensões de “Produto” e “Estratégia da Organização”, possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta, com 78% e 100%, respectivamente. De acordo com os resultados apresentados pela Indústria C, é possível observar que a mesma precisará investir nos componentes analisados através do questionário para que possa avançar nos próximos níveis de acordo com a situação atual das suas dimensões.

Tabela 9 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria C

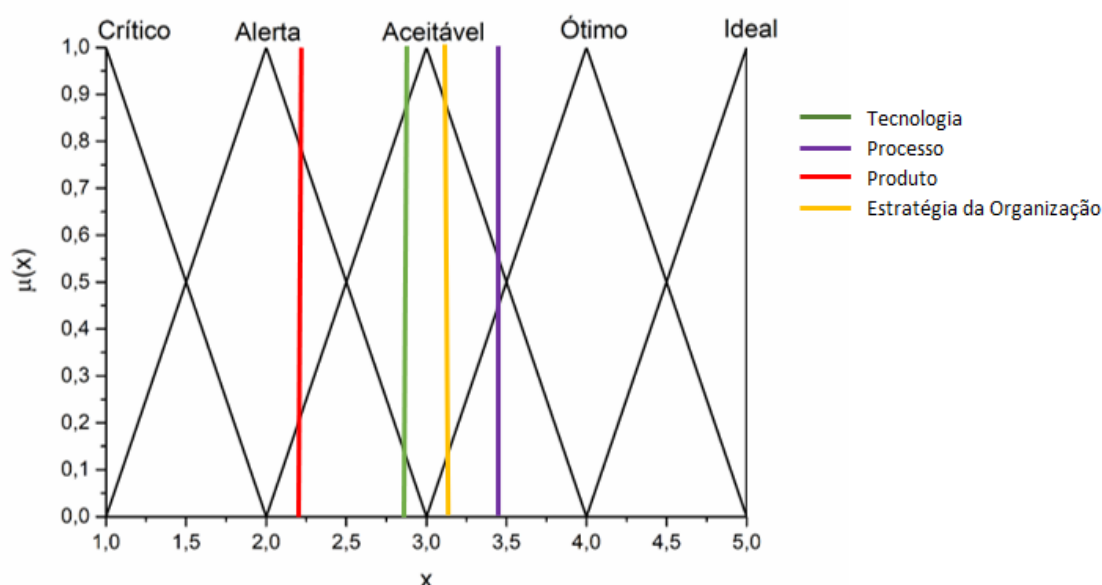
DIMENSÕES	X	Y1	NÍVEL	Y2	NÍVEL
TECNOLOGIA	1,96	4%	CRÍTICO	96%	ALERTA
PROCESSO	1,54	46%	ALERTA	54%	CRÍTICO
PRODUTO	2,22	22%	ACEITÁVEL	78%	ALERTA
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	2	0%	ACEITÁVEL	100%	ALERTA

Fonte: Autoria Própria (2019).

Pode ser observado, principalmente na dimensão “Processos”, onde a mesma possui maior representatividade no Nível 1 - Crítico. Isso se deve ao fato da indústria não investir em recursos que contemplam a Indústria 4.0, como linhas de produção adaptáveis, manutenção inteligente, M2M, *Smart Grids*. Os demais níveis possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta, ou seja, estão na fase inicial para a implementação de alguns componentes que foram analisados no questionário como, *Smart Sensores*, gerenciamento do ciclo de vida do produto e produtos personalizados. Desta forma, no Quadro 14 estão disponíveis sugestões para que a indústria possa avançar para o próximo nível de acordo com a análise atual das suas dimensões.

- Análise da Maturidade da Indústria D:

O Gráfico 13 representa as respostas obtidas na análise da Indústria D, onde é possível verificar que três dimensões possuem maior representatividade no Nível 3 - Aceitável, sendo elas “Tecnologia”, “Processo” e “Estratégia da Organização”.

Gráfico 13 - Situação da Indústria D para cada dimensão

Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 10 representa as respostas obtidas na análise da Indústria D, onde a dimensão Produto apresenta estar com maior representatividade no Nível 2 - Alerta, com 78%. Já as dimensões de “Tecnologia”, “Processo” e “Estratégia da Organização”, apresentam estar com maior representatividade no Nível 3 - Aceitável, com 89%, 54% e 89%, respectivamente. Analisando os resultados da Indústria D, percebe-se há necessidade de maiores investimentos na dimensão “Produto” sendo evidenciado no Gráfico 13 e representado com os dados obtidos na Tabela 10, onde a mesma possui maior representatividade no Nível 2 - Alerta. Isto se deve ao fato de que, principalmente em alguns componentes, como linha de produção adaptável, rastreabilidade (matéria-prima, processo e produto acabado), produtos personalizados e lotes variados.

Tabela 10 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria D

DIMENSÕES	X	Y1	NÍVEL	Y2	NÍVEL
TECNOLOGIA	2,89	11%	ALERTA	89%	ACEITÁVEL
PROCESSO	3,46	46%	ÓTIMO	54%	ACEITÁVEL
PRODUTO	2,22	22%	ACEITÁVEL	78%	ALERTA
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	3,11	11%	ÓTIMO	89%	ACEITÁVEL

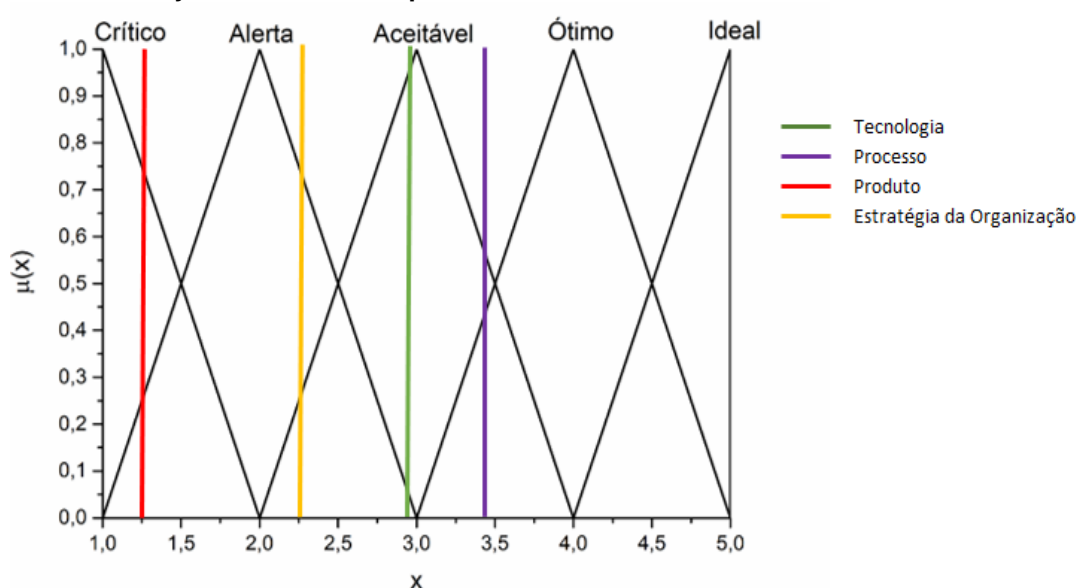
Fonte: Autoria Própria (2019).

Já os níveis “Tecnologia” e “Estratégia da Organização” possuem maior representatividade no Nível 3 - Aceitável, onde a indústria está implementando alguns recursos parciais, como, *Smart Sensores*, *Big Data/ Big Data Analysis*, *Cloud Manufacturing*, capacitação dos colaboradores sobre Indústria 4.0. Além disto, é possível observar com a análise dos dados obtidos na Tabela 10, que a indústria está em uma situação melhor quando comparada às demais. Pois a mesma, está inicialmente investindo na dimensão “Estratégia Organizacional”, através da Tabela 10 pode-se observar que o Y1 apresenta estar com 11% no Nível 4 - Ótimo e também está investindo na dimensão “Processo”, onde pode ser observado que dentre todas as dimensões, a dimensão “Processo” se destaca, sendo representada com 54% no Nível 3 - Aceitável e os outros 46% estão no Nível 4 - Ótimo. Isto pode ser justificado através das respostas obtidas no questionário, onde a indústria está investindo nos principais componentes que envolvem o contexto da Indústria 4.0, como *Smart Grids*, manutenção inteligente e gerenciamento do ciclo de vida do produto. Contudo, no Quadro 14 estão disponíveis sugestões para que a indústria possa avançar para o próximo nível de acordo com a análise atual das suas dimensões.

- Análise da Maturidade da Indústria E:

O Gráfico 14 representa os dados obtidos através do questionário e tratados pela Lógica Fuzzy da Indústria E, onde é possível observar que as dimensões “Tecnologia” e “Processo” possuem maior representatividade no Nível 3 - Aceitável. Já as demais dimensões possuem maior representatividade em níveis inferiores, como a dimensão “Produto”, no Nível 1 - Crítico e a dimensão “Estratégia da Organização”, no Nível 2 - Alerta.

Gráfico 14 - Situação da Indústria E para cada dimensão



Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos na análise da Indústria E, onde apresenta as dimensões que possuem maior representatividade nas dimensões Tecnologia, com 96%, no Nível 3 - Aceitável, Processo, com 54%, no Nível 3 - Aceitável, Produto, com 75%, no Nível 1 - Crítico, e a dimensão Estratégia da Organização com 75% no Nível 2 - Alerta.

Tabela 11 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria E

DIMENSÕES	X	Y1	NÍVEL	Y2	NÍVEL
TECNOLOGIA	2,96	4%	ALERTA	96%	ACEITÁVEL
PROCESSO	3,46	46%	ÓTIMO	54%	ACEITÁVEL
PRODUTO	1,25	25%	ALERTA	75%	CRÍTICO
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	2,25	25%	ACEITÁVEL	75%	ALERTA

Fonte: Autoria Própria (2019).

Analisando estes resultados obtidos através do questionário da Indústria E, é possível identificar uma disparidade entre as dimensões. A dimensão “Produto” possui

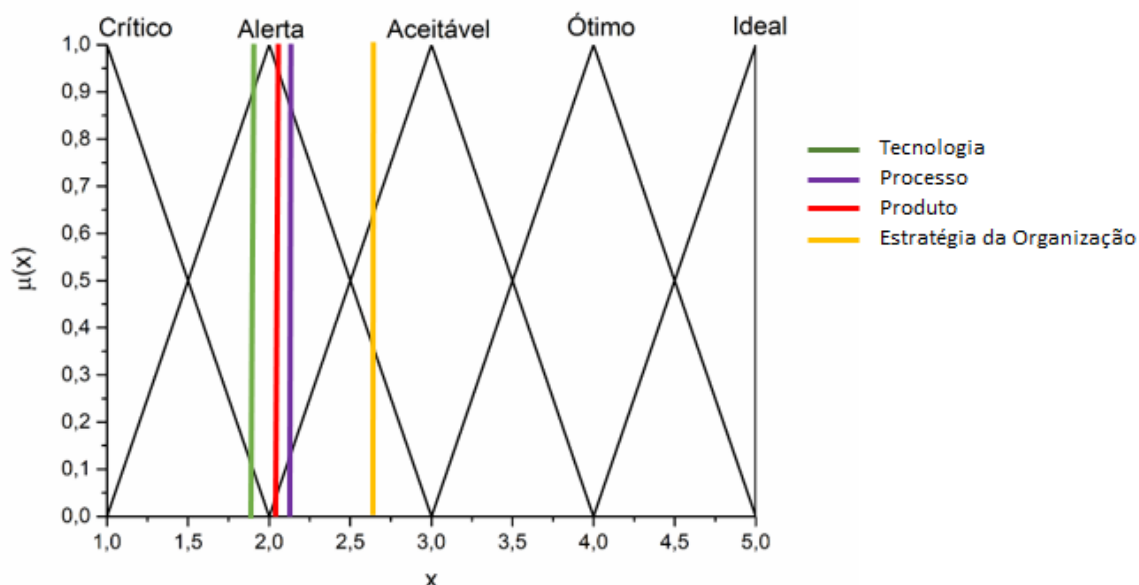
maior representatividade no Nível 1 - Crítico, pelo fato da indústria não possuir alguns recursos importantes, sendo constatado através das respostas obtidas no questionário como rastreabilidade (matéria-prima, processo e produto acabado) e recursos para a realização de testes e simulações. Além disso, a indústria ainda não consegue atender pedidos com lotes variados e solicitação de produtos personalizados.

Na dimensão "Estratégia da Organização", a indústria possui maior representatividade no Nível 2 - Alerta. Analisando as respostas obtidas através do questionário, foi possível identificar que isso se deve ao fato de a indústria não capacitar seus colaboradores sobre Indústria 4.0, além da falta de integração da cadeia de suprimentos com todos os setores em tempo real.

Em contrapartida, a dimensão "Processo" foi a que se destacou de maneira positiva, onde a indústria possui maior representatividade no Nível 3 - Aceitável, e os outros 46% para o Nível 4 - Ótimo. Este bom desempenho deve-se aos investimentos realizados em seus processos como pode ser constatado através das respostas obtidas através do questionário como: M2M, *Smart Grids*, manutenção inteligente e linhas de produção adaptáveis. Desta forma, para que a indústria possa avançar os próximos níveis de maturidade, respectivamente nas dimensões analisadas, a mesma deverá investir nestes componentes como será evidenciado no Quadro 14.

- Análise da Maturidade da Indústria F:

O Gráfico 15 representa as respostas obtidas na análise da Indústria F, onde é possível verificar que as dimensões "Tecnologia", "Produto" e "Processo" possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta.

Gráfico 15 - Situação da Indústria F para cada dimensão

Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 12 mostra que na Indústria F, as dimensões “Tecnologia”, “Produto” e “Processo” possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta, com 89%, 97% e 87%, respectivamente. Já a dimensão “Estratégia da Organização” possui maior representatividade no Nível 3 - Aceitável com 64%.

Tabela 12 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria F

DIMENSÕES	X	Y1	NÍVEL	Y2	NÍVEL
TECNOLOGIA	1,89	11%	CRÍTICO	89%	ALERTA
PROCESSO	2,13	13%	ACEITÁVEL	87%	ALERTA
PRODUTO	2,03	3%	ACEITÁVEL	97%	ALERTA
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	2,64	36%	ALERTA	64%	ACEITÁVEL

Fonte: Autoria Própria (2019).

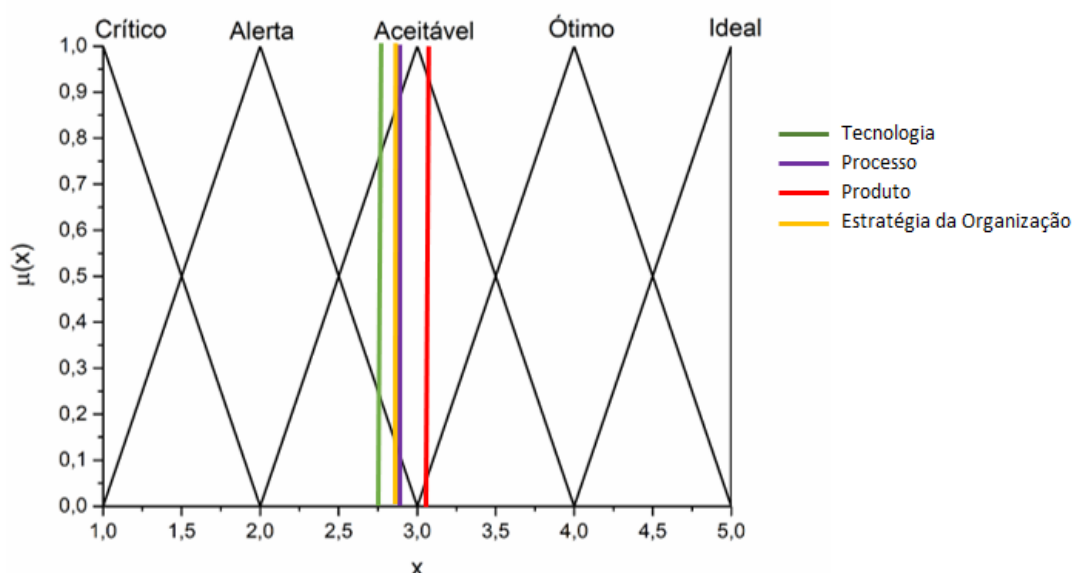
O fato das dimensões “Tecnologia”, “Produto” e “Processo” estarem no Nível 2 - Alerta, podem ser justificados pela implementação inicial de alguns componentes por parte da indústria, sendo o mesmo constatado através das respostas obtidas no questionário como: *Big Data/ Big Data Analysis*, M2M e parcialmente consegue atender lotes variados. Por outro lado, a dimensão “Estratégia da Organização” se mostra mais avançada, pois possui maior representatividade no Nível 3 - Aceitável, onde a indústria possui alguns componentes como programa de capacitação dos seus colaboradores sobre Indústria 4.0 e a fabricação sustentável (planejamento verde), além de possuir integração da cadeia de suprimentos em tempo real em mais da metade dos setores da indústria. Contudo, para que a indústria possa seguir

avanzando em seus respectivos níveis, a mesma deverá investir nos componentes que estão inseridas no contexto da Indústria 4.0, como será evidenciado no Quadro 14.

- Análise da Maturidade da Indústria G:

O Gráfico 16 representa a situação Indústria G para cada dimensão analisada, onde todas as dimensões possuem maior representatividade no Nível 3 - Aceitável. É possível perceber um certo equilíbrio nessa indústria, onde a mesma possui parcialmente diversos recursos importantes para contemplar a Indústria 4.0. No entanto, para seguir avançando, será necessário seguir investindo em componentes referente à Indústria 4.0, conforme sugerido no Quadro 14.

Gráfico 16 - Situação da Indústria G para cada dimensão



Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 13 representa a Indústria G analisada, onde pode-se observar que todas as dimensões possuem maior representatividade no Nível 3 - Aceitável, sendo a dimensão “Tecnologia”, com 75%, a dimensão “Estratégia da Organização”, com 86%, a dimensão “Processo”, com 88%, e a dimensão de “Produto”, com 94%.

Tabela 13 - Resultados obtidos da aplicação para a Indústria G

DIMENSÕES	X	Y1	NÍVEL	Y2	NÍVEL
TECNOLOGIA	2,75	25%	ALERTA	75%	ACEITÁVEL
PROCESSO	2,88	12%	ALERTA	88%	ACEITÁVEL
PRODUTO	3,06	6%	ÓTIMO	94%	ACEITÁVEL
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	2,86	14%	ALERTA	86%	ACEITÁVEL

Fonte: Autoria Própria (2019).

Dentre as indústrias estudadas, a Indústria G foi a que se demonstrou equilibrada referente as suas dimensões. Isso pode ser justificado pelo fato da indústria estar utilizando parcialmente alguns recursos essenciais nesse contexto, como, *Smart Sensores*, *Big Data Analysis*, *Cloud Manufacturing*, Inteligência Artificial.

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O NÍVEL DE MATURIDADE DAS INDÚSTRIAS ANALISADAS

Através das análises realizadas, pode-se observar que três indústrias possuem maior representatividade no Nível 2 - Alerta (Indústrias A, C e F) e no Nível 3 - Aceitável (Indústrias B, D, E e G).

O Quadro 14 apresenta sugestões de investimentos que podem ajudar as indústrias a avançarem para os próximos níveis. Tais sugestões possuem relação direta com as carências identificadas através da resposta do questionário, bem como a cultura da indústria, planejamento estratégico, qualidade e os conceitos da Indústria 4.0, além de considerar as melhorias desejadas pelas indústrias. No entanto, é importante salientar que cabe a indústria analisar a viabilidade das sugestões. Elas devem avaliar se os avanços nos níveis estão compatíveis com suas respectivas estratégias. Sendo assim, o presente trabalho permitirá que as indústrias participantes compreendam melhor o cenário que estão buscando atingir e assim buscarem avançar neste contexto caso considerem pertinente.

Quadro 14 - Sugestões para que as indústrias possam evoluir para o nível seguinte

INDÚSTRIA	DIMENSÕES	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	SUGESTÕES
A	TECNOLOGIA	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: <i>Smart Sensores</i> , inteligência artificial, realidade aumentada e realidade virtual.
	PROCESSO	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: <i>Smart Grids</i> , manutenção inteligente, gerenciamento do ciclo de vida do produto e fabricação aditiva.
	PRODUTO	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Rastreabilidade (matéria-prima, produto em transformação, produto acabado), fabricação aditiva, acesso para que o cliente possa acompanhar as etapas do processo produtivo.
	ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: Programa de capacitação dos seus colaboradores sobre a Indústria 4.0, incentivos governamentais, <i>Internet of Service</i> .
INDÚSTRIA	DIMENSÕES	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	SUGESTÕES
B	TECNOLOGIA	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: <i>Smart Sensores</i> , <i>Big Data/Big Data Analysis</i> , inteligência artificial, realidade aumentada e realidade virtual.
	PROCESSO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: M2M, <i>Smart Grids</i> , manutenção inteligente e fabricação aditiva.
	PRODUTO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: Rastreabilidade (matéria-prima, produto em transformação, produto acabado), fabricação aditiva, acesso para que o cliente possa acompanhar as etapas do processo produtivo e produtos personalizados.
	ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: Programa de capacitação dos seus colaboradores sobre a Indústria 4.0, incentivos governamentais, parceria com pelo menos uma instituição de conhecimento, <i>Internet of Service</i> , integração da cadeia de suprimentos em tempo real em mais da metade dos setores e marketing 4.0.

INDÚSTRIA	DIMENSÕES	NÍVEL ATUAL PRÓXIMO NÍVEL		SUGESTÕES
C	TECNOLOGIA	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: <i>Smart Sensores, Cloud Manufacturing</i> , inteligência artificial, realidade aumentada e realidade virtual.
	PROCESSO	Nível 1 - Crítico	Nível 2 - Alerta	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: <i>M2M, Smart Grids</i> , manutenção inteligente, linhas de produção adaptáveis e fabricação aditiva.
	PRODUTO	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Rastreabilidade (matéria-prima e produto em transformação), fabricação aditiva, acesso para que o cliente possa acompanhar as etapas do processo produtivo e produtos personalizados.
	ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Programa de capacitação dos seus colaboradores sobre a Indústria 4.0, incentivos governamentais, <i>Internet of Service</i> , integração da cadeia de suprimentos em tempo real parcial em alguns setores e marketing 4.0.
INDÚSTRIA	DIMENSÕES	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	SUGESTÕES
D	TECNOLOGIA	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: <i>Smart Sensores, Cloud Manufacturing</i> , Segurança da Informação de maneira avançada para alguns setores e a previsão de expansão, realidade aumentada e realidade virtual.
	PROCESSO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: <i>M2M</i> , linhas de produção adaptáveis, fabricação aditiva para algum componente para a linha de produção.
	PRODUTO	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Rastreabilidade (matéria-prima, produto em transformação, produto acabado), realização da fabricação aditiva para produtos completos, atender pedidos de lotes variados, produtos personalizados, acesso para que o cliente possa acompanhar as etapas do processo produtivo.
	ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: Programa de capacitação dos seus colaboradores sobre a Indústria 4.0, incentivos governamentais, <i>Internet of Service</i> , marketing 4.0 e fabricação sustentável.

INDÚSTRIA	DIMENSÕES	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	SUGESTÕES
E	TECNOLOGIA	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: <i>Smart Sensores</i> , inteligência artificial, realidade aumentada e realidade virtual.
	PROCESSO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: <i>Smart Grids</i> , fabricação aditiva para algum componente para a linha de produção.
	PRODUTO	Nível 1 - Crítico	Nível 2 - Alerta	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Rastreabilidade (matéria-prima, produto em transformação, produto acabado), realizar testes e simulações, realização da fabricação aditiva para produtos completos, acesso para que o cliente possa acompanhar as etapas do processo produtivo, atender pedidos de lotes variados, produtos personalizados.
	ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: Incentivos governamentais, <i>Internet of Service</i> , integração da cadeia de suprimentos em tempo real em mais da metade dos setores e marketing 4.0.
INDÚSTRIA	DIMENSÕES	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	SUGESTÕES
F	TECNOLOGIA	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: <i>Cloud Manufacturing</i> , inteligência artificial, Segurança da informação sendo disponibilizado para alguns pontos/processos específicos na indústria, realidade aumentada e realidade virtual.
	PROCESSO	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Manutenção inteligente, gerenciamento do ciclo de vida do produto, linhas de produção adaptável, fabricação aditiva para algum componente para a linha de produção.
	PRODUTO	Nível 2 - Alerta	Nível 3 - Aceitável	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Rastreabilidade (matéria-prima, produto em transformação, produto acabado), realização da fabricação aditiva para produtos completos, acesso para que o cliente possa acompanhar as etapas do processo produtivo.
	ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação em mais da metade da indústria com os principais recursos, como: Programa de capacitação dos seus colaboradores para mais da metade dos setores sobre a Indústria 4.0, incentivos governamentais, <i>Internet of Service</i> , marketing 4.0 e fabricação sustentável em mais da metade dos setores/processos.

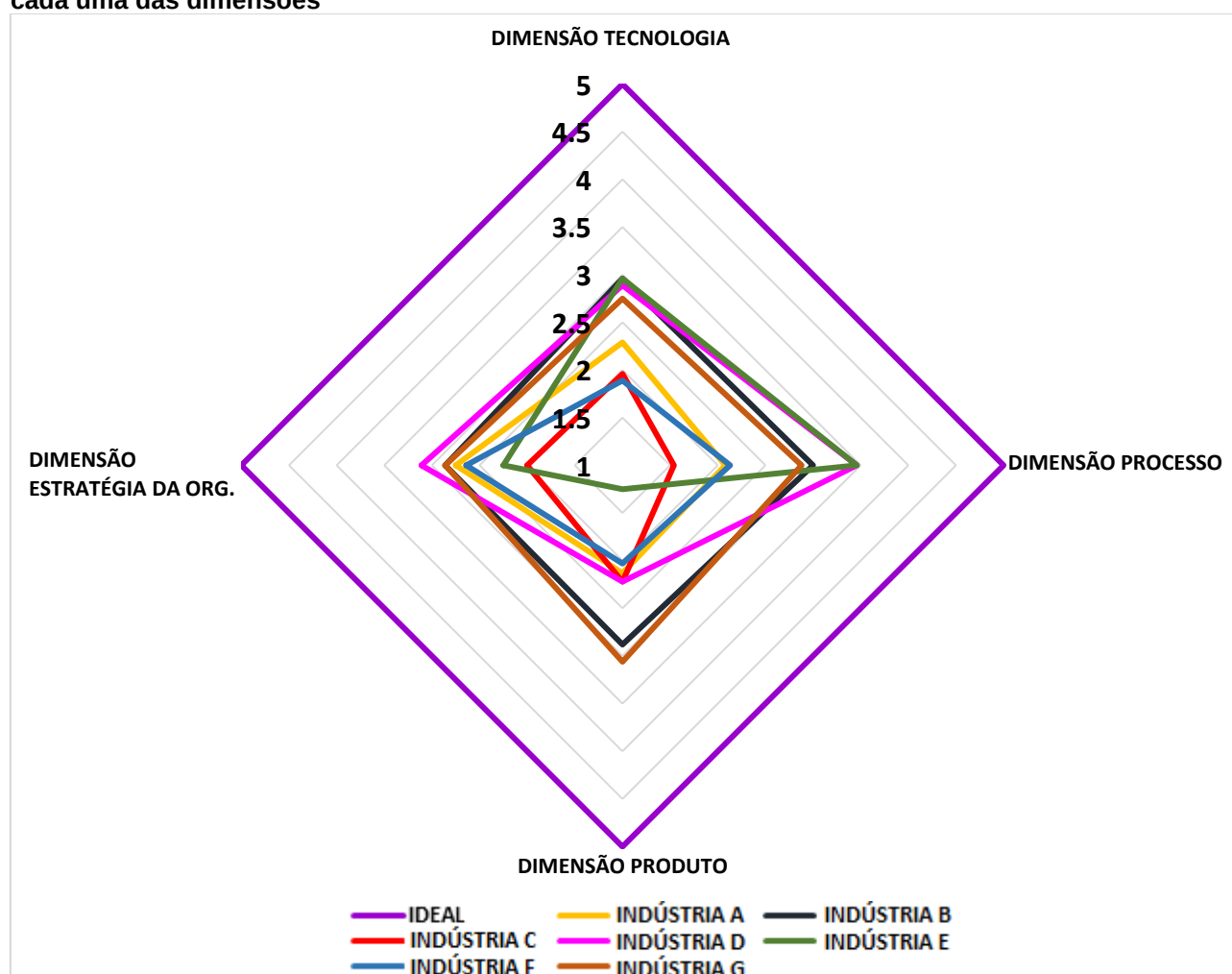
INDÚSTRIA	DIMENSÕES	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	SUGESTÕES
G	TECNOLOGIA	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: <i>Big Data/ Big Data Analysis, Cloud Manufacturing</i> , realidade aumentada e realidade virtual.
	PROCESSO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: M2M, <i>Smart Grids</i> , manutenção inteligente, gerenciamento do ciclo de vida do produto.
	PRODUTO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Rastreabilidade (matéria-prima, produto em transformação, produto acabado), acesso para que o cliente possa acompanhar as etapas do processo produtivo.
	ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO	Nível 3 - Aceitável	Nível 4 - Ótimo	Implementação parcial dos principais recursos na indústria, como: Programa de capacitação dos seus colaboradores sobre a Indústria 4.0, incentivos governamentais, integração da cadeia de suprimentos em tempo real em mais da metade dos setores, marketing 4.0 e fabricação sustentável.

Fonte: Autoria própria (2019).

Percebe-se através do Quadro 14, que as indústrias poderão se planejar e avaliar as sugestões realizadas para cada dimensão, e dessa forma, investir e se beneficiar dos componentes que irão investir, como já contextualizado no Capítulo 2 e 3. Quanto mais as indústrias investirem nos recursos que envolvem os componentes da Indústria 4.0, mais próximos estarão dos seus clientes, uma vez que a tendência é aumentar a rapidez, agilidade, personalidade, produtividade, qualidade e eficiência no atendimento, além de integrar às novas estratégias de mercado, engajando os objetivos estratégicos da Indústria com o do cliente.

Para complementar as análises realizadas e descritas anteriormente e para proporcionar uma melhor visualização da análise das indústrias, o Gráfico 17 apresentará o resultado da média dos dados tratados pela Lógica Fuzzy para cada indústria referente as dimensões.

Gráfico 17 - Resultado da média dos dados tratados pela Lógica Fuzzy de cada indústria para cada uma das dimensões



Fonte: Autoria própria (2019).

Através do Gráfico 17 é possível analisar quais as indústrias que se destacaram em cada uma das dimensões. As indústrias D e E obtiveram destaque na dimensão "Processo", ambas com média de 3,46. Já na dimensão Estratégia da Organização, a Indústria D se destacou com uma média de 3,11. Na dimensão Produto, a Indústria G se destacou, com uma média de 3,06. Na dimensão Tecnologia, as Indústrias B e E foram as melhores classificadas, ambas com média de 2,96.

Partindo do princípio que a média ideal é 5, é possível concluir que mesmo as indústrias melhores classificadas ainda necessitam investir nos componentes referente ao contexto da Indústria 4.0 para atingirem o nível ideal. Esse resultado se deve ao desconhecimento da indústria sobre os conceitos, características e componentes da Indústria 4.0, além da falta de alinhamento entre a estratégia organizacional e a necessidade do contexto da Indústria 4.0 e ainda todos os outros benefícios que este pode proporcionar.

Através da análise realizada é possível verificar que o modelo desenvolvido permite analisar as indústrias de maneira geral com base no nível de maturidade de cada indústria e individual com base na maturidade de cada dimensão. Além disso, a análise realizada demonstra a subjetividade da Lógica Fuzzy, onde uma dimensão não está totalmente situada em um único nível, mas sim, parcialmente em dois níveis com seus respectivos graus de associação, permitindo identificar o desenvolvimento da indústria na transição de um nível para outro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tem por objetivo apresentar as considerações finais sobre o trabalho. Para torná-lo mais organizado, será dividido em cinco seções: considerações sobre a análise dos objetivos do trabalho; sobre a aplicação; sobre o método de análise dos dados; contribuições do trabalho e ainda, sugestões para trabalhos futuros.

5.1 ANÁLISE DOS OBJETIVOS

O presente trabalho atingiu o objetivo geral proposto deste trabalho: desenvolver um modelo de maturidade para analisar as indústrias no contexto da Indústria 4.0. Além disso, o modelo de maturidade ajudou na identificação dos principais recursos que cada indústria necessita para avançarem para o próximo nível de maturidade.

Com relação aos objetivos específicos, os mesmos foram atingidos.

- O primeiro objetivo específico, "Identificar as características pertinentes à Indústria 4.0", foi atingido no capítulo 2 (seção 2.1 e 2.2).
- Já o segundo objetivo específico, "Estabelecer os componentes da Indústria 4.0, com base na literatura multiáreas", foi atingido também no capítulo 2 (seção 2.3).
- O terceiro objetivo específico, "Identificar modelos de maturidade existentes no contexto da Indústria 4.0", foi atingido na seção 2.4 do capítulo 2.
- O quarto objetivo específico, "Relacionar os componentes e os modelos de maturidade voltados para a Indústria 4.0", foi atingido na seção 2.4.12 do capítulo 2.
- O quinto objetivo específico, "Caracterizar as dimensões pertinentes a Indústria 4.0", foi atingido na seção 3.3 do capítulo 3.
- O sexto objetivo específico, "Identificar os níveis de maturidade no contexto da Indústria 4.0 através do modelo de maturidade proposto", foi atingido na seção 3.3 capítulo 3.
- Já o último objetivo específico, "Testar o modelo em indústrias inseridas no contexto da Indústria 4.0 em uma região do Paraná (Brasil)", foi atingido no capítulo 4.

Foi possível observar que este estudo realizou uma discussão teórica e prática ao aprofundar-se em artigos referenciados pela academia e desenvolvidos no

contexto da Indústria 4.0, e por conseguinte, ao identificar os modelos de maturidades já desenvolvidos neste contexto, verificando como eram estruturados e identificando suas carências para atender as características da Indústria 4.0, que foram essenciais para a construção do modelo.

Desta forma, a construção do modelo de maturidade teve como base as variáveis encontradas nos estudos científicos. Tal modelo se faz necessário para identificar a situação do setor industrial visando seu desenvolvimento a partir de características e componentes da Indústria 4.0 considerando a visão anteriormente verificada - multidisciplinar e multiáreas.

5.2 APLICAÇÃO

Ao desenvolver o modelo, foi aplicado o pré-teste, que teve como objetivo aplicar o questionário e verificar se as informações contextualizadas nele estavam de forma clara e concisa. Com a colaboração dos alunos da Pós-Graduação, foi possível identificar, na aplicação, que o respondente precisa conhecer toda a indústria, para que não haja dúvidas ao responder o questionário e transmitir fielmente o real estado da indústria.

Após a verificação do pré-teste, o modelo proposto foi aplicado em 7 indústrias, na região dos Campos Gerais, no Paraná. Através das respostas obtidas no questionário e com a análise através do método da Lógica Fuzzy, foi possível identificar o nível de maturidade geral das indústrias, além de identificar o nível de maturidade em cada uma das quatro dimensões com relação a Indústria 4.0, sendo possível identificar onde cada uma das dimensões estão em seus graus evolutivos, facilitando para o gestor na identificação e na priorização de investimentos dos componentes da Indústria 4.0, e desta forma, as ações para cada uma das dimensões podem ser direcionadas.

5.3 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS

A utilização do método da Lógica Fuzzy foi considerado, pois após um extenso estudo, constatou-se que para a contemplação dos componentes nesse cenário inovador, a análise deve ser linear, pois o peso para cada dimensão é um para um,

ou seja, todos os componentes de cada dimensão são relevantes para a identificação do nível de maturidade. Além disso, nenhum modelo de maturidade estudado havia utilizado a Lógica Fuzzy para a avaliação da maturidade nesse contexto, o que torna o presente trabalho original na maneira de tratar os dados. Em adicional, a Lógica Fuzzy também demonstra um componente de subjetividade, onde uma dimensão não está totalmente situada em um único nível, mas sim, parcialmente em dois níveis com seus respectivos graus de associação. Contudo, a base para construção deste modelo de maturidade foi através de uma vasta base bibliográfica. Para um melhor aproveitamento das informações levantadas pelo trabalho, as indústrias analisadas poderão avaliar as sugestões e se possível, consultar especialistas na área para verificar a viabilidade da implantação das mesmas.

Desta forma, é importante ressaltar que este modelo contribui por sua relevância ao que se refere ao contexto atual, onde possibilitou progredir com a teoria desenvolvida para medir o contexto das indústrias sobre a Indústria 4.0.

5.4 CONTRIBUIÇÕES PARA O TRABALHO

O presente trabalho propõe-se a contribuir nos âmbitos acadêmico, econômico e social, conforme apresentado no Capítulo 1. Após o desenvolvimento do mesmo, verificou-se as possíveis contribuições:

- Área Acadêmica: Foram mapeadas as características da Indústria 4.0 sobre o ponto de vista da literatura e dos países que mais investem neste conceito. Além disso, a partir do trabalho, foram identificados novos componentes da Indústria 4.0 (25 no total) a partir de estudos multiáreas, além da realização da revisão de literatura quanto aos modelos de maturidade já existentes para a Indústria 4.0 e os pontos a serem melhorados e contemplados neste modelo a ser desenvolvido. Este contexto permitiu a melhoria do conceito da Indústria 4.0, já que este ainda não foi esgotado pela literatura, e precisa ser explorado e melhorado para melhor compreensão. Com isso, uma nova proposta de modelo de maturidade para as indústrias no contexto da Indústria 4.0 foi desenvolvido, a partir de novos componentes e da Lógica Fuzzy, permitindo a contribuição no setor econômico.

- Setor Econômico: A partir deste trabalho, permite-se o estímulo à visibilidade das indústrias no contexto da Indústria 4.0, com isso, estimula-se a melhoria do

desenvolvimento de conceitos praticáveis para a Indústria 4.0 a partir do avanço de níveis considerados no modelo e assim, o avanço de melhorias de produtividade, flexibilidade, qualidade, redução de tempo e custo, ganhos financeiros e demais melhorias apontadas pelo conceitos da Indústria 4.0.

- Contexto Social: Além da melhor explicação para a sociedade sobre o que é a Indústria 4.0, através de suas características e componentes, bem como as melhorias que a Indústria 4.0 trará para a sociedade como consumidora ou como desafios para o trabalhador. Essas informações poderão ser divulgadas a partir deste trabalho e publicações de artigos. A partir dos níveis de maturidade, os trabalhadores poderão receber melhor treinamento e preparo por parte da indústria 4.0 para enfrentar os desafios sociais, tais como o desemprego e necessidade de atualização, trazidos pela Indústria 4.0.

5.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como apresentando no Capítulo 1, este trabalho possui no seu escopo a necessidade de delimitação, e com isso, deixa sugestões para complementações de pesquisas na área que auxiliarão na investigação do tema e de novas contribuições.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Estabelecimento de indicadores e índice para Indústrias 4.0 por setor e por região;
- Relacionamento dos níveis de maturidade com estratégia da indústria, intensificando pesquisas sobre a necessidade do contexto da Indústria 4.0 para as indústrias;
- Uma nova revisão de literatura para a atualização dos novos componentes, e assim, verificação de novas variáveis que possam complementar o modelo, além de incluir a “robótica” para a realização das novas pesquisas;
- Investigação da expansão e adaptação do modelo para outros setores, como serviços e pequenas e médias empresas;
- Aplicação do modelo em indústrias do mesmo segmento a nível regional, nacional e internacional;
- O modelo desenvolvido vai permitir que as indústrias participantes compreendam melhor o cenário da Indústria 4.0. Assim, serão capazes de atribuírem pesos a estes critérios com base em suas prioridades.

- Criação de uma ferramenta para comparar os níveis de maturidade entre indústrias em nível regional, nacional e internacional, para compreender as necessidades de cada segmento referente a Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

ABRAMOWICZ, W. AUER, S. HEATH, T. **Linked Data in Business**. 2016.

ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Um panorama da Engenharia de Produção. Disponível em: <
<http://www.abepro.org.br/interna.asp?ss=1&c=924>> Acesso em: 30 de ago. 2018.

ALI, S. et al. **Network Challenges for Cyber Physical Systems with Tiny Wireless Devices: A Case Study on Reliable Pipeline Condition Monitoring. Sensors**. 2015.

AMORIM, P. HOLOGRAFIA EM EVENTOS E SHOWS. Disponível em:
<<https://www.r1audiovisual.com.br/blog/holografia-em-eventos-e-shows>> Acesso em: 10 de out. 2018.

AGUIAR, H.; OLIVEIRA, J. **Lógica Difusa - Aspectos Práticos e Aplicações**. Editora: Interciência - DISAL. Primeira Edição. São Paulo, 1999.

BANGEMANN, T. et al. **Integration of Classical Components Into Industrial Cyber-Physical Systems**. Proceedings of the Ieee, v. 104, n. 5, p. 947-959. 2016.

BASL, J. Pilot Study of Readiness of Czech Companies to Implement the Principles of Industry 4.0. **Management and Production Engineering Review**, v. 8, n. 2, p. 3-8. 2017.

BAUER, E. et al. Towards a security baseline for IaaS-cloud back-ends in Industry 4.0. 2017 12th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions. **Anais...**Cambridge. 2018.

BESSANT, J.; TIDD, J. **Inovação e empreendedorismo**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

BRUIN, T. et al. **Understanding the main phases of developing a maturity assessment model**. 2005.

BORGES, H. P. et al. **Computação em Nuvem**. 2015.

BUSINESS KOREA. **Innovation in Manufacturing 3.0 Strategy Needs Better Focus with Clearer Direction.** Disponível em: <<http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=13060>> Acesso em: 24 de mai. 2019.

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Considerações sobre Qualis Periódicos** - Engenharias III. 2016. Disponível em: <<http://capes.gov.br>> Acesso em: 08 de mar. 2018.

CEARLEY, D. et al. **Top 10 Strategic Technology Trends for 2018.** Gartner. Disponível em: <<https://www.gartner.com/doc/3811368?srcId=1-6595640781>> Acesso em: 12 de jun. 2018.

CONTI, M. PASSARELLA, A.; DAS, S. K. **The Internet of People (IoP):** A new wave in pervasive mobile computing. *Pervasive and Mobile Computing*, v. 41, p. 1-27, 2017.

COSSETTI, M. C. Como funciona uma impressora 3D. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/240402/como-funciona-impressora-3d/>> Acesso em: 10 de out. 2018.

COELHO, J. R. R. **FIESP IDENTIFICA DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL E APRESENTA PROPOSTAS.** Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/noticias/fiesp-identifica-desafios-da-industria-4-0-no-brasil-e-apresenta-propostas/>> Acesso em: 20 dez. 2018.

COSTA, J. M. **Sociedade 5.0, o futuro, pelo presente.** Disponível em: <<https://www.dinheirovivo.pt/opiniao/sociedade-5-0-o-futuro-pelo-presente/>> Acesso em: 25 mai. 2019.

CUNHA, G. D. **Um panorama atual da engenharia da produção.** Porto Alegre, 2002.

DEBOIS, S. **9 vantagens e desvantagens dos questionários.** Disponível em: <<https://surveyanyplace.com/pt/9-vantagens-e-desvantagens-dos-questionarios/>> Acesso em: 23 fev. 2019.

DE CAROLIS, Anna et al. **Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in**

defining their digitalization roadmap. In: Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2017 International Conference on. IEEE, p. 487-495. 2017.

DUARTE, J. **Modelos de Maturidade** - 6 modelos utilizados na gestão de projetos. Disponível em: <<https://www.gp4us.com.br/modelos-de-maturidade/>> Acesso em: 03 abr. 2018.

DURAKBASA, N. M. et al. **Intelligent integrated management and advanced metrology for quality toward the factory of the future.** Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2018.

Export.Gov. **Manufacturing Technology - Smart Factory.** Disponível em: <<https://2016.export.gov/southkorea/doingbusinessinskorea/leadingsectorsforusexportsinvestment/manufacturingtechnology/index.asp>> Acesso em: 26 mai. 2019.

FAHEEM, M.; GUNGOR, V. C. **Energy efficient and QoS-aware routing protocol for wireless sensor network-based smart grid applications in the context of industry 4.0.** Applied Soft Computing Journal. 2017.

FIEP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ. **Indústria 4.0: Jornada rumo ao futuro.** Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/industria-40-jornada-rumo-ao-futuro-2-95-350744.shtml>> Acesso em: 20 mar. 2018.

FIRJAN SENAI, FINEP. **Industria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios.** Rio de Janeiro: [s.n], 2019.

FERNANDES, J. G. L. et al. **INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: UMA VISÃO GERAL.** REVISTA ELETRÔNICA ENGENHARIA ESTUDOS E DEBATES, v. 1, 2018.

FERREIRA, T. F.; JAFELICE, R. S. **Sistemas p-fuzzy modificados para o modelo do controle de pragas.** Revista Biomatemática-IMECC-UNICAMP. 2012.

FREUND, G. P. et al. **Requisitos de Segurança para Provedores de Serviços em Nuvem de Acordo com a Norma ISO 27017.** 2017.

GALASKE, N. et al. **Workforce management 4.0** - Assessment of human factors readiness towards digital manufacturingAdvances in Intelligent Systems and Computing. 2018.

GANGA, G. M. D.; CARPINETTI, L. C. R.; POLITANO, P. R. **Gestão do desempenho em cadeias de suprimentos usando Lógica Fuzzy**. Gestão & Produção, v. 18, n. 4, p. 755-774, 2011.

GANGA, G. M. D. **Proposta de um modelo de simulação baseado em lógica fuzzy e no SCOR para prever o desempenho da empresa-foco em cadeias de suprimentos**. Diss. Universidade de São Paulo, 2010.

GIACOMELLI, S. **A Segurança da Informação**. GESTÃO DE PESSOAS E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO. Disponível em: <<https://unisalgp.wordpress.com/2015/05/25/a-seguranca-da-informacao/>> Acesso em: 10 out. 2018.

GILL, M. VANBOSKIRK, S. **Digital Maturity Model 4.0**. Benchmarks: Digital Transformation Playbook, 2016.

GÖKALP, E. et al. **Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM**. In: **International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination**. Springer, Cham, p. 128-142. 2017.

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.

GOMES, H. PLC - **Saiba o que é e como utilizá-lo nas indústrias**. Disponível em: <<https://engprocess.com.br/plc/>> Acesso em: 11 out. 2018.

GROFFE, R. J. **Maturidade no desenvolvimento de software: CMMI e MPS-BR**. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/maturidade-no-desenvolvimento-de-software-cmmi-e-mps-br/27010>> Acesso em: 20 abr. 2018.

GRÜDTNER, L. D. **Segurança no contexto de IoT e Fog Computing**. Depto. de Informática e Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC. 2017.

HAMIDI, S. R. et al. **SMEs Maturity Model Assessment of IR4**. 0 Digital Transformation. In: **International Conference on Kansei Engineering & Emotion Research**. Springer, Singapore, p. 721-732. 2018.

HINCHCLIFFE, D. **Internet of Things Strategy: It Will Determine Your Organization's Future**. Disponível em: <<https://www.enterpriseirregulars.com/118617/internet-things-strategy-will-determine-organizations-future/>> Acesso em: 25 mai. 2019.

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

INDÚSTRIA 4.0. **Qual será a atuação do Engenheiro de Produção na Indústria 4.0?**. Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/noticias/16759-qual-sera-a-atuacao-do-engenheiro-de-producao-na-industria-40>> Acesso em: 21 jul. 2018.

IEDI. **Indústria 4.0: A Política Industrial da Alemanha para o futuro**. Disponível em: <https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_807.html>. Acesso em: 24 mai. 2019.

IEDI. **Indústria 4.0 em perspectiva comparada**. Disponível em: <https://iedi.org.br/artigos/top/analise/analise_iedi_20180705_inovacao.html> . Acesso em: 24 mai. 2019.

IEDI. **Indústria 4.0: A iniciativa Made in China 2025**. Disponível em: <https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_827.html>. Acesso em: 24 mai. 2019.

JÆGER, Bjørn; HALSE, Lise Lillebrygfjeld. **The IoT Technological Maturity Assessment Scorecard: A Case Study of Norwegian Manufacturing Companies**. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer, Cham. p. 143-150. 2017.

JIRKOVSKY, V.; OBITKO, M.; MARIK, V. **Understanding Data Heterogeneity in the Context of Cyber-Physical Systems Integration**. Ieee Transactions on Industrial Informatics, v. 13, n. 2, p. 660-667. 2017.

KANG, H. S. 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.

KANS, M.; INGWALD, A.. **Business model development towards service management 4.0**. Procedia CIRP, v. 47, p. 489-494, 2016.

KANJI, G. K. **Total quality management: The Second Industrial Revolution.** p. 3-12. 1990.

KRIZHEVSKY, A; SUTSKEVER, I.; HINTON, G. E. **Imagenet classification with deep convolutional neural networks.** In: Advances in neural information processing systems. p. 1097-1105. 2012.

LAN, Tian-Syung. **Tool wear optimization for general CNC turning using fuzzy deduction.** Engineering, v. 2, n. 12, p. 1019, 2010.

LANZILLOTTI, R. S.; LANZILLOTTI, H. S. **Análise sensorial sob o enfoque da decisão fuzzy.** Revista de Nutrição, v. 12, n. 2, 1999.

LECUN, Yann; BENGIO, Yoshua; HINTON, Geoffrey. **Deep learning.** Nature, v. 521, n. 7553, p. 436. 2015.

LEITE, IM, FREITAS FF. **Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério à decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEE.** XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves (Brasil). 2012.

LEYH, C. et al. **The application of the maturity model simmi 4.0 in selected enterprises.** AMCIS 2017 - America's Conference on Information Systems: A Tradition of Innovation. **Anais...**Boston. 2017.

LEYH, Christian et al. **SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0.** In: Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2016 Federated Conference on. IEEE, p. 1297-1302. 2017.

LEYH, Christian et al. **The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises.** 2017.

LI, D. et al. **A big data enabled load-balancing control for smart manufacturing of Industry 4.0.** Cluster Computing, v. 20, n. 2, p. 1855-1864. 2017.

LI, L. **China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0".** Technological Forecasting and Social Change. 2017.

LI, X. M. et al. **A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0.** *Wireless Networks*, v. 23, n. 1, p. 23-41. 2017.

LI, Qing. A novel Likert scale based on fuzzy sets theory. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 5, p. 1609-1618, 2013.

LIAO, Y. X. 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.

LICHTBLAU, K. GOERICKE, D. STICH, V. *Industrie 4.0-Readiness.* Impuls-Stiftung, 2015.

LIMA, E. D. et al. **Explorando padrões e normas associados ao RAMI 4.0: Um estudo descritivo.** Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2018.

LIN, C. C. et al. **Key design of driving industry 4.0:** Joint energy-efficient deployment and scheduling in group-based industrial wireless sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 54, n. 10, p. 46-52. 2016.

LIU, H. **Research on the Internet Plus, Industry 4.0 and Change in Humanity:** a Perspective based on Touch Point Management. *Revista de la Facultad de Ingenieria*, v. 32, n. 1, p. 582-588. 2017.

LIU, Y.; XU, X. **Industry 4.0 and cloud manufacturing:** A comparative analysis. ASME 2016 11th International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC, American Society of Mechanical Engineers. 2016.

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.

MAJEED, M. A. A.; RUPASINGHE, T. D. **Internet of things (IoT) embedded future supply chains for industry 4.0:** An assessment from an ERP-based fashion apparel and footwear industry. *International Journal of Supply Chain Management*, v. 6, n. 1, p. 25-40. 2017.

MARCON, P. et al. **Communication technology for industry 4.0**. In: Progress In Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS), 2017. IEEE. p. 1694-1697. 2017.

MAGNO, A. et al. **Modelos de Maturidade**. 2011.

MARRO, A. A. et al. **Lógica fuzzy: conceitos e aplicações**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2010.

MERKEL, L. et al. **Teaching Smart Production: An Insight into the Learning Factory for Cyber-Physical Production Systems (LVP)**. Procedia Manufacturing, v. 9, p. 269-274. 2017.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **MDIC instala Grupo de Trabalho que definirá Estratégia Nacional para a Indústria 4.0 no Brasil**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/component/content/article?id=2640>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

MIRANDA, Javier et al. **From the Internet of Things to the Internet of People**. IEEE Internet Computing, v. 19, n. 2, p. 40-47, 2015.

MOSTERMAN, P. J.; ZANDER, J. **Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study**. Software and Systems Modeling, v. 15, n. 1, p. 17-29. 2016.

MIGUEL, P. A. C., et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações** - Coleção ABEPRO. Elsevier Brasil, 2012.

MUÑOZ, R. et al. **The CTTC 5G End-to-End Experimental Platform: Integrating Heterogeneous Wireless/Optical Networks, Distributed Cloud, and IoT Devices**. IEEE Vehicular Technology Magazine, v. 11, n. 1, p. 50-63. 2016.

NETO, M. S. P. et al. **Qual o conceito de M2M e por que isso importa para o desenvolvimento de IoT?** Disponível em: <<https://www.jota.info/opiniao-e-analise/artigos/qual-o-conceito-de-m2m-e-por-que-isso-importa-para-o-desenvolvimento-de-iot-23012018>>. Acesso em: 11 out. 2018.

ORTEGA, J. **Piloto de drone a operador de robô: China oficializa 13 empregos em tecnologia.** Disponível em: <<https://www.startse.com/noticia/nova-economia/63129/china-empregos-tech>>. Acesso em: 16 out. 2019.

OZKAYNAK, F.; MUHAMAD, M. I.; IEEE. **Fast Software Implementation of DES for Lightweight Platforms.** [s.l: s.n.]. 2017.

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.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. **Why every organization needs an augmented reality strategy.** Harvard Business Review, v. 6, p. 46-57, 2017.

PORTER, M. E. **O que é estratégia.** Harvard Business Review, v. 74, n. 6, p. 61-78, 1996.

PUPO, F; SIMÃO, E. **'Indústria 4.0' terá crédito de R\$ 8,6 bi.** Disponível em: <<https://www.valor.com.br/brasil/5383707/industria-40-tera-credito-de-r-86-bi>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

PR-EUVENEERS, D.; ILIE-ZUDOR, E. **The intelligent industry of the future: A survey on emerging trends, research challenges and opportunities in Industry 4.0.** Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, v. 9, n. 3, p. 287-298. 2017.

QIN, Jian; LIU, Ying; GROSVENOR, Roger. **A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond.** Procedia Cirp, v. 52, p. 173-178, 2016.

RABER, D; WINTER, R; WORTMANN, F. **Using quantitative analyses to construct a capability maturity model for business intelligence.** In: System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference on. IEEE, p. 4219-4228. 2012.

RAJNAI, Zoltán; KOCSIS, István. **Assessing industry 4.0 readiness of enterprises.** In: **Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)**, 2018 IEEE 16th World Symposium on. IEEE, p. 225-230. 2018.

REIFFERSCHIED, M. **Digitization in the steel industry - Strategies, concepts and solutions**. Stahl und Eisen, v. 137, n. 2, p. 43-48. 2017.

REN, Lei et al. **Cloud manufacturing: key characteristics and applications**. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 30, n. 6, p. 501-515, 2017.

RENTERÍA, A. R. **Estimación de probabilidade fuzzy a partir de dados imprecisos**. Diss. Tese (Doutorado)-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, Setembro, 2006.

REZENDE, S. O. **Mineração de dados**. XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2005.

RIFKIN, Jeremy. **The third industrial revolution: How the Internet, green electricity, and 3-d printing are ushering in a sustainable era of distributed capitalism**. World Financial Review, v. 1. 2012.

ROBLEK, V.; MESKO, M.; KRAPEZ, A. **A Complex View of Industry 4.0**. Sage Open, v. 6, n. 2. 2016.

ROUSE, M. **Smart Sensor**. Disponível em:
<<https://Internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-sensor>> Acesso em:
Acesso em: 11 out. 2018.

RHEINGANTZ, P. A. **Lógica fuzzy e variáveis lingüísticas aplicadas na avaliação de desempenho de edifícios de escritório**. Ambiente Construído, 2(3), 41-55. 2002.

SALTIÉL, R. M. Ferreira; NUNES, F. Lima. **A indústria 4.0 e o sistema Hyundai de produção: suas interações e diferenças**. Anais do V Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP, 2017.

SIEMENS. **Como será o profissional da indústria 4.0?**. Disponível em:
<<https://exame.abril.com.br/tecnologia/como-sera-o-profissional-da-industria-4-0/>>
Acesso em: 13 set. 2018.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Definição de micro, pequena, média e grande empresa na Construção Civil**. Belo Horizonte: Sinduscon-MG, 2013.

SCHLUGA, O. et al. **Operations security evaluation of IaaS-cloud backend for industry 4.0**. CLOSER 2018 - Proceedings of the 8th International Conference on Cloud Computing and Services Science. **Anais...** Funchal. 2018.

SCHUH, G. et al. **Industrie 4.0 Maturity Index**. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY) Herbert Utz Verlag, Munich, 2017.

SCHUMACHER, A. EROL, S. SIHN, W. **A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises**. Procedia CIRP, v. 52, p. 161-166, 2016.

SNASEL, V. et al. **Geometrical and topological approaches to Big Data**. Future Generation Computer Systems-the International Journal of Escience, v. 67, p. 286-296. 2017.

SOLER, A. M.; **Maturidade Organizacional e o Modelo de Avaliação PMI-OPM3**, 2015.

STARK, **John**. **Product lifecycle management**. In: Product Lifecycle Management. Springer, Cham, v.1, p. 1-29. 2015.

STATE COUNCIL OF PEOPLE REPUBLIC OF CHINA. **Building a World Manufacturing Power premier and 'Made in China 2025' Strategy**. Disponível em: <http://english.gov.cn/premier/news/2017/01/29/content_281475554068056.htm> Acesso em: 20 mar. 2018.

TAO, F. et al. **SDMSim: A manufacturing service supply-demand matching simulator under cloud environment**. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 45, p. 34-46. 2017.

TEIXEIRA, H. **O que é simulação?** Disponível em: <<http://www.helioteixeira.org/complexidade/o-que-e-simulacao/>> Acesso em: 10 out. 2018.

THOBEN, K. D.; WIESNER, S. A.; WUEST, T. **“Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples.** International Journal of Automation Technology, v. 11, n. 1, p. 4-16. 2017.

TONELLI, F. et al. **A novel methodology for manufacturing firms value modeling and mapping to improve operational performance in the industry 4.0 Era.** Procedia CIRP, v. 57, p. 122-127. 2016.

TUNZELMANN, N. V. **Historical coevolution of governance and technology in the industrial revolutions.** Structural Change and Economic Dynamics, v. 14, n. 4, p. 365-384, 2003.

TURRIONI J.B., MELLO C.H. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá: UNIFEI. 2012.

VASCONCELOS, R. **Reformulação: a versão do Engenheiro 4.0.** Disponível em:<http://www.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/economia/2018/04/21/internas_economia,749384/reformulacao-a-versao-do-engenheiro-4-0.shtml#.Wt3xyPTZmxY> Acesso em: 23 abr. 2018.

VENTURELLI, M. **RAMI 4.0: Modelo de Referência para Arquitetura da Indústria 4.0.** Disponível em:< <https://www.automacaoindustrial.info/rami-4-0-modelo-de-referencia-para-arquitetura-da-industria-4-0/>> Acesso em: 20 out. 2018.

VDI-Studie - Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation.
INGENIEURAUSBILDUNG FÜR DIE DIGITALE TRANSFORMATION. 2019.

WAIBEL, M. W. et al. **Investigating the effects of Smart Production Systems on sustainability elements.** In: SELIGER, G.; KOHL, H., et al (Ed.). 14th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Gcsm 2016 (Procedia Manufacturing). Amsterdam: Elsevier Science Bv, v.8, p.731-737. 2017.

WAN, J. et al. **Context-Aware Cloud Robotics for Material Handling in Cognitive Industrial Internet of Things.** IEEE Internet of Things Journal. 2017.

WAN, J. et al. **Mobile services for customization manufacturing systems: An example of industry 4.0.** IEEE Access, v. 4, p. 8977-8986. 2016.

WAN, J. et al. **Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0.** IEEE Sensors Journal, v. 16, n. 20, p. 7373-7380. 2016.

WAN, J. F. et al. **A Manufacturing Big Data Solution for Active Preventive Maintenance.** IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 13, n. 4, p. 2039-2047, 2017.

WANG, S. Y. et al. **Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination.** Computer Networks, v. 101, p. 158-168. 2016.

WEBER, C. et al. **M2DDM-A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing.** In: TSENG, M. M.; TSAI, H. Y.; WANG, Y. (Eds.). . Manufacturing Systems 4.0. [s.l: s.n.]. v. 63p. 173-178. 2017.

WEBER, Christian et al. **M2DDM-a maturity model for data-driven manufacturing.** Procedia CIRP, v. 63, p. 173-178, 2017.

WEYER, S. et al. **Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems.** Ifac Papersonline, v. 48, n. 3, p. 579-584. 2015.

WOLLSCHLAEGER, M.; SAUTER, T.; JASPERNEITE, J. **The future of industrial communication: Automation networks in the era of the Internet of things and industry 4.0.** IEEE Industrial Electronics Magazine, v. 11, n. 1, p. 17-27. 2017.

WU, D.; TERPENNY, J.; SCHAEFER, D. **Digital design and manufacturing on the cloud: A review of software and services.** Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM, v. 31, n. 1, p. 104-118. 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.

XU, X.; HUA, Q. **Industrial Big Data Analysis in Smart Factory: Current Status and Research Strategies.** IEEE Access. 2017.

YAZDANI, M. et al. **A group decision making support system in logistics and supply chain management.** Expert Systems with Applications, v. 88, p. 376-392, 2017.

ZADEH, L. A. **Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process,** IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Vol, SMC-3, N° 1, 1973.

APÊNDICE A - Modelos de Maturidade na Indústria 4.0

Modelos de Maturidade na Indústria 4.0

Nº	MODELO	AUTORES/ ANO	DIMENSÕES/NÍVEIS	MÉTODO DE AVALIAÇÃO	APLICAÇÃO	QUESTIONÁRIO	CONTRIBUIÇÃO	PERSPECTIVAS FUTURAS
1	“Toolbox Workforce Management 4.0”	Galaske et al. (2018)	1) Habilidades difíceis (hard skills), 2) Habilidades suaves (soft skills), 3) Usabilidade e operabilidade (usability & operability), 4) Ambiente de trabalho (work environment)	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.	Não	Não disponível está no artigo.	Pode ser utilizado para analisar as competências e as condições de trabalho quanto ao avanço digital na Indústria 4.0.	Não apresenta.
2	“DREAMY”	Carolus et al. (2017)	1) Processo; 2) Monitoramento e Controle; 3) Tecnologia e 4) Organização.	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.	Sim	Não disponível está no artigo.	O modelo tem como objetivo identificar a prontidão digital e as principais oportunidades que podem ser exploradas a partir do processo de digitalização.	Padronizar a metodologia; Incluir outras áreas para a avaliação; Realizar um benchmark estruturado; Ampliar a aplicação; Desenvolver um catálogo para atualizar o modelo.
3	“Industrie 4.0 Maturity Index”	Schuh et al. (2017)	1) Informatização; 2) Conectividade; 3) Visibilidade; 4) Transparência; 5) Capacidade Preditiva e 6) Adaptabilidade.	Apresenta os critérios do método.	Sim	Não disponível está no artigo.	O objetivo deste modelo é auxiliar as empresas para que possam se tornar ágil e capaz de aprender com a adaptação contínua.	O modelo e os resultados do estudo podem ser usados para desenvolver ferramentas e melhores práticas que auxiliem as empresas modelagem concreta da transformação.

4	“Indústria 4.0-MM”	Gökalp et al. (2017)	Nível 0 (incompleto), Nível 1 (realizado), Nível 2 (gerenciado), Nível 3 (estabelecido), Nível 4 (previsível) e Nível 5 (otimizado).	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.	Não	Não disponível está no artigo.	Este modelo tem como objetivo ajudar as organizações, fornecendo orientação e introdução de um roteiro.	Pretende-se validar o modelo de maturidade proposto e realizar um estudo de caso exploratório.
5	“Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)”	Weber et al. (2017)	Nível 0 - Integração de TI inexistente; Nível 1 - Integração de dados e sistemas; Nível 3 - Orientação para Serviço; Nível 4 - Digital Twin; Nível 5 - Fábrica AutoOtimizadora.	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.	Não	Não disponível está no artigo.	Pretende-se utilizar este modelo para que as empresas possam avaliar a maturidade de sua arquitetura em TI em relação a orientação de dados na Indústria 4.0.	Pretende-se aplicar em várias empresas.
6	“The IoT Technological Maturity Model”	Jæger e Halse (2017)	Nível 1: 3.0 de Maturidade; Nível 2: Maturidade inicial para 4.0; Nível 3: Conectado; Nível 4: Aprimorado; Nível 5: Inovação; Nível 6: Integrado; Nível 7: Extensivo; Nível 8: Maturidade 4.0.	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.	Sim	Não disponível está no artigo.	Fornecer uma ferramenta útil para que os gestores possam desenvolver sua organização na direção da Indústria 4.0.	A validação do modelo é um trabalho contínuo que requer estudos longitudinais cujos resultados serão relatados em uma próxima etapa.
8	“Industry 4.0 Maturity Model”	Schumacher et al. (2016)	1)Produtos, 2) Clientes, 3) Operações, 4) Tecnologia, 5) Estratégia, 6) Liderança, 7) Governança, 8) Cultura e 9) Pessoas.	Apresenta os critérios do método.	Sim	Não disponível está no artigo.	O trabalho visou o desenvolvimento de um modelo de maturidade e uma ferramenta para avaliar a maturidade da Indústria 4.0 de empresas com foco na manufatura.	As investigações futuras visarão principalmente um método identificar estado específico da empresa, quanto os itens de maturidade, bem como definir etapas estratégicas para alcançar os níveis de maturidade recuados.

9	“The Digital Maturity Model 4.0”	Gill e VanBoskirk (2016)	1) Cultural; 2) Organização; 3) Tecnologia e 4) Insight	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.	Sim	Disponível.	Através deste modelo de maturidade, os gestores podem usar para avaliar o aspecto atual digital para impulsionar a estratégia competitiva, experiências do cliente e criar agilidade operacional	Não apresenta.
10	“Manufacturing Value Modeling Methodology”	Tonelli et al. (2016)	1) Reagir; 2) Antecipar; 3) Integrar; 4) Colaborar; 5) Orquestrar.	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.	Sim	Não disponível está no artigo.	Um dos aspectos inovadores deste modelo é que ele traz uma abordagem completa, identificando pontos fortes / fracos, metas e objetivos de negócios.	Para estudo futuro do modelo deve-se incluir atores secundários para a coleta de dados tendo em vista que podem influenciar na amostra, outro ponto de melhoria será no desenvolvimento de métricas que visam medir de forma tangível da evolução das soluções dentro da ferramenta.
11	“IMPULS - Industrie 4.0-Readiness”	Lichtblau, Goericke e Stich (2015)	1) Estratégia e Organização; 2) Fabricação Inteligente; 3) Operações inteligentes; 4) Produtos inteligentes; 5) Serviços orientados por dados e 6) Funcionários.	Apresenta os critérios do método.	Sim	Não disponível está no artigo.	O modelo de prontidão tem como base a autoavaliação e comparação.	Não apresenta.

APÊNDICE B - Relação entre os principais componentes da Indústria 4.0 com os modelos de maturidade

Modelos de maturidade Componentes		1	2	3	4	5	6
		“Toolbox Workforce Management 4.0”	“DREAMY”	“Industrie 4.0 Maturity Index”	“Indústria 4.0-MM”	“Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)”	“The IoT Technological Maturity Model”
1	CPS	▲	■	■	▲	▲	X
2	IoT	▲	■	■	■	▲	■
3	IoS	X	X	■	■	X	▲
4	Big Data/ Big Data Analysis	X	■	■	■	■	■
5	Cloud Manufacturing	X	■	■	■	▲	■
6	Fog Computing	X	X	X	X	X	X
7	Inteligência Artificial	X	X	■	X	X	X
8	Segurança da Informação	■	■	■	■	▲	X
9	Sistemas embarcados	X	■	X	X	X	X
10	PLM	X	■	X	■	■	■
11	Manutenção Inteligente	X	X	X	X	X	X
12	Fabricação Aditiva	X	■	■	X	X	X
13	Simulação	X	X	■	X	X	X
14	Holograma	X	X	X	X	X	X
15	Realidade aumentada	■	■	■	X	X	X
16	Realidade Virtual	■	X	■	X	X	X
17	Produtos inteligentes	X	■	■	X	▲	■
18	Smart sensores	X	X	X	X	X	X
19	Integração vertical	X	■	■	■	▲	■
20	Integração horizontal	X	■	■	■	▲	■
21	Integração de ponta a ponta	X	■	■	■	▲	▲
22	Machine to Machine	X	▲	X	X	▲	▲
23	Smart Grids	X	X	X	X	X	X
24	Rastreabilidade	X	■	■	X	X	X
25	Adaptabilidade	■	■	■	X	X	X

Modelos de maturidade Componentes		7	8	9	10	11
		“SMMI 4.0”	“Industry 4.0 Maturity Model”	“The Digital Maturity Model 4.0”	“Manufacturing Value Modeling Methodology”	“IMPULS - Industrie 4.0- Readiness”
1	CPS	■	▲	X	X	X
2	IoT	■	▲	X	X	X
3	IoS	■	X	X	■	■
4	Big Data/ Big Data Analysis	■	▲	X	X	■
5	Cloud Manufacturing	■	X	▲	X	■
6	Fog Computing	X	X	X	X	X
7	Inteligência Artificial	X	▲	X	X	X
8	Segurança da Informação	■	X	▲	X	■
9	Sistemas embarcados	X	X	▲	X	X
10	PLM	■	▲	▲	■	X
11	Manutenção Inteligente	X	X	X	X	X
12	Fabricação Aditiva	X	X	X	X	X
13	Simulação	■	■	X	■	■
14	Holograma	X	X	X	X	X
15	Realidade aumentada	X	X	X	X	X
16	Realidade Virtual	X	X	X	X	X
17	Produtos inteligentes	X	X	X	X	■
18	Smart sensores	X	X	X	X	■
19	Integração vertical	■	▲	X	■	▲
20	Integração horizontal	■	▲	X	▲	▲
21	Integração de ponta a ponta	▲	▲	X	▲	▲
22	Machine to Machine	X	■	X	X	■
23	Smart Grids	X	X	X	X	X
24	Rastreabilidade	X	X	X	■	X
25	Adaptabilidade	X	X	X	X	X

APÊNDICE C - Quadro resumo dos artigos do portfólio bibliográfico ordenados pela metodologia *Methodi Ordinatio*

Quadro resumo dos artigos do portfólio bibliográfico ordenados pela metodologia Methodi Ordinatio

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
1	Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton	Imagenet classification with deep convolutional neural networks	Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012)	0	2012	27683	27723
2	Y LeCun, Y Bengio, G Hinton	Deep learning	Nature	40,137	2015	9085	9155
3	STARK, John	Product lifecycle management	Springer	0	2015	992	1062
4	Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D. and Zhang, C.	Towards smart factory for Industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination	Computer Networks	2,516	2015	202	272
5	Kang, H.S., Lee, J.Y., Choi, S., Kim, H., Park, J.H., Son, J.Y., Kim, B.H. and Noh, S.D.	Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology	3,494	2016	151	231
6	Wollschlaeger, M., Sauter, T. and Jasperneite, J.	The future of industrial communication: Automation networks in the era of the Internet of things and industry 4.0	IEEE Industrial Electronics Magazine	10,710	2017	137	227
7	Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., De Amicis, R., Pinto, E.B., Eisert, P., Döllner, J. and Vallarino I., J.	Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet	IEEE Computer Graphics and Applications	1,987	2015	147	217

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
8	Wan, J., Tang, S., Shu, Z., Li, D., Wang, S., Imran, M. and Vasilakos, A.V.	Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0	IEEE Sensors Journal	2,512	2016	126	206
9	Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M. and Gorecky, D.	Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems	Ifac Papersonline	0	2015	135	205
10	Lu, Y.	Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues	Journal of Industrial Information Integration	0	2017	103	193
11	Lei Ren, Lin Zhang, Lihui Wang, Fei Tao & Xudong Chai	Cloud manufacturing: key characteristics and applications	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	1,949	2017	101	191
12	Lei Ren, Lin Zhang, Lihui Wang, Fei Tao & Xudong Chai	Cloud manufacturing: key characteristics and applications	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	1,949	2017	100	190
13	Jian Qina*, Ying Liua, Roger Grosvenora	A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond	Procedia CIRP	0	2016	106	186
14	Li, X.M., Li, D., Wan, J.F., Vasilakos, A.V., Lai, C.F. and Wang, S.Y.	A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0	Wireless Networks	1,584	2017	94	184
15	Roblek, V., Meško, M. and Krapež, A.	A Complex View of Industry 4.0	SAGE Open	0	2016	99	179
16	Hofmann, E. and Rusch, M.	Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics	Computers in Industry	2,691	2017	87	177

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
17	Liao, Y.X., Deschamps, F., Loures, E.D.R. and Ramos, L.F.P.	Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal	International Journal of Production Research	2,325	2017	80	170
18	Tao, F., Cheng, J., Cheng, Y., Gu, S., Zheng, T. and Yang, H.	SDMSim: A manufacturing service supply-demand matching simulator under cloud environment	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	3	2017	71	161
19	Schumacher, A., Erol, S. and Sihm, W.	A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises	Vol. 52Procedia CIRP, pp. 161-166	0	2016	81	161
20	Javier Miranda, Niko Mäkitalo, Jose Garcia-Alonso, Javier Berrocal, Tommi Mikkonen, Carlos Canal, Juan M. Murillo	From the Internet of Things to the Internet of People	IEEE Internet Computing	1,521	2015	90	160
21	Thoben, K.D., Wiesner, S.A. and Wuest, T.	"Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples	International Journal of Automation Technology	0	2017	59	149
22	Mosterman, P.J. and Zander, J.	Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study	Software and Systems Modeling	1,654	2016	64	144
23	Wan, J.F., Tang, S.L., Li, D., Wang, S.Y., Liu, C.L., Abbas, H. and Vasilakos, A.V.	A Manufacturing Big Data Solution for Active Preventive Maintenance	Ieee Transactions on Industrial Informatics	6,764	2017	48	138
24	Liu, Y.K. and Xu, X.	Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis	Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the Asme	3,480	2017	47	137
25	RIFKIN, Jeremy.	The third industrial revolution: How the Internet, green electricity	World Financial Review	0	2012	88	128

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
26	Li, L.	China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0"	Technological Forecasting and Social Change	2,625	2017	33	123
27	Jirkovsky, V., Obitko, M. and Marik, V.	Understanding Data Heterogeneity in the Context of Cyber-Physical Systems Integration	Ieee Transactions on Industrial Informatics	6,764	2017	19	109
28	Wan, J., Yi, M., Li, D., Zhang, C., Wang, S. and Zhou, K.	Mobile services for customization manufacturing systems: An example of industry 4.0	IEEE Access	3,244	2016	27	107
29	Gorecky, D., Khamis, M. and Mura, K.	Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	1,949	2017	17	107
30	Wan, J., Tang, S., Hua, Q., Li, D., Liu, C. and Lloret, J.	Context-Aware Cloud Robotics for Material Handling in Cognitive Industrial Internet of Things	IEEE Internet of Things Journal	7,596	2017	16	106
31	Xu, P.P., Mei, H.H., Ren, L. and Chen, W.	ViDX: Visual Diagnostics of Assembly Line Performance in Smart Factories	Ieee Transactions on Visualization and Computer Graphics	2,840	2017	16	106
32	Lin, C.C., Deng, D.J., Chen, Z.Y. and Chen, K.C.	Key design of driving industry 4.0: Joint energy-efficient deployment and scheduling in group-based industrial wireless sensor networks	IEEE Communications Magazine	10,435	2016	25	105
33	Majeed, M.A.A. and Rupasinghe, T.D.	Internet of things (IoT) embedded future supply chains for industry 4.0: An assessment from an ERP-based fashion apparel and footwear industry	International Journal of Supply Chain Management	5,789	2017	13	103

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
34	Snášel, V., Nowaková, J., Xhafa, F. and Barolli, L.	Geometrical and topological approaches to Big Data	Future Generation Computer Systems	3,997	2017	13	103
35	Conti, M., Passarella A , Sajal K. Das	The Internet of People (IoP): A new wave in pervasive mobile computing	Pervasive and Mobile Computing	2,349	2017	12	102
36	Wu, D.Z., Terpenney, J. and Schaefer, D.	Digital design and manufacturing on the cloud: A review of software and services	Ai Edam-Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing	0,803	2017	12	102
37	Waibel, M.W., Steenkamp, L.P., Moloko, N. and Oosthuizen, G.A.	Investigating the Effects of Smart Production Systems on Sustainability Elements	Procedia Manufacturing	0	2017	12	102
38	De Carolis, A., MacChi, M., Negri, E. and Terzi, S.	Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap	Vol. 2018-Janua2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering, Technology and Innovation Management Beyond 2020: New Challenges, New Approaches, ICE/ITMC 2017 - Proceedings, pp. 487-495	0	2018	2	102

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
----	---------	--------	-----------	-----	-----	----------	-------------

41	Oliver Schluga, Elisabeth Bauer, Ani Bicaku, Silia Maksuti, Markus Tauber and Alexander Wohrer	Operations Security Evaluation of IaaS-Cloud Backend for Industry 4.0	International Conference on Cloud Computing and Services Science	0	2018	0	100
42	Numan M. Durakbasa, J. Martin Bauer, Lukas Kräuter, Gokcen Bas, and Günther Poszvek	Intelligent Integrated Management and Advanced Metrology for Quality Toward the Factory of the Future	International Conference on the Industry 4.0 model for Advanced Manufacturing	0	2018	0	100
43	Hamidi, S.R., Aziz, A.A., Shuhidan, S.M., Aziz, A.A. and Mokhsin, M.	SMEs maturity model assessment of IR4.0 digital transformation	Vol. 739Advances in Intelligent Systems and Computing, pp. 721-732	0	2018	0	100
44	Xu, X. and Hua, Q.	Industrial Big Data Analysis in Smart Factory: Current Status and Research Strategies	IEEE Access	3,244	2017	7	97

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
46	Basl, J.	Pilot Study of Readiness of Czech Companies to Implement the Principles of Industry 4.0	Management and Production Engineering Review	0	2017	6	96
47	Merkel, L., Atug, J., Merhar, L., Schultz, C., Braunreuther, S. and Reinhart, G.	Teaching Smart Production: An Insight into the Learning Factory for Cyber-Physical Production Systems (LVP)	Procedia Manufacturing	0	2017	6	96
48	Gokalp, E., Sener, U., Eren, P.E., Gökalp, E., Şener, U. and Eren, P.E.	Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM	Vol. 770Communications in Computer and Information Science, pp. 128-142	0	2017	6	96
49	Bangemann, T., Riedl, M., Thron, M. and Diedrich, C.	Integration of Classical Components Into Industrial Cyber-Physical Systems	Proceedings of the IEEE	9,237	2016	15	95
50	Bangemann, T., Riedl, M., Thron, M. and Diedrich, C.	Integration of Classical Components Into Industrial Cyber-Physical Systems	Proceedings of the IEEE	9,237	2016	15	95
51	Muñoz, R., Mangues-Bafalluy, J., Vilalta, R., Verikoukis, C., Alonso-Zarate, J., Bartzoudis, N., Georgiadis, A., Payaró, M., Perez-Neira, A., Casellas, R., Martínez, R., Núñez-Martínez, J., Esteso, M.R., Pubill, D., Font-Bach, O., Henarejos, P., Serra, J. and Vazquez-Gallego, F.	The CTTC 5G End-to-End Experimental Platform: Integrating Heterogeneous Wireless/Optical Networks, Distributed Cloud, and IoT Devices	IEEE Vehicular Technology Magazine	4,429	2016	15	95

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
52	Kan, M. and Ingwald, A.	Business Model Development towards Service Management 4.0	Vol. 47Product-Service Systems across Life Cycle, pp. 489-494	0	2016	12	92
53	Weber, C., Königsberger, J., Kassner, L. and Mitschang, B	M2DDM - A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing	Vol. 63Procedia CIRP, pp. 173-178	0	2017	2	92
54	Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T. and Bay, L.	The application of the maturity model simmi 4.0 in selected enterprises	Vol. 2017-AugusAMCIS 2017 - America's Conference on Information Systems: A Tradition of Innovation	0	2017	2	92
55	P. Marcon ; F. Zezulka ; I. Vesely ; Z. Szabo ; Z. Roubal ; O. Sajdl ; E. Gescheidtova ; P. Dohnal	Communication technology for industry 4.0	IEEE 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS)	0	2017	1	91
56	Liu, H.	Research on the Internet Plus, Industry 4.0 and Change in Humanity: a Perspective based on Touch Point Management	Revista de la Facultad de Ingenieria	0	2017	0	90

Nº	Autores	Título	Periódico	JCR	Ano	Citações	InOrdinatio
58	Ma Ping , Han Qiang	Research On Information Security Management Mechanism Of The Industry Cloud In Manufacturing Enterprise	Proceedings of the 29th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2017		2017	0	90
59	Bauer, E; Schluga, O; Maksuti, S; Bicaku, A Hofbauer, D; Ivkic, I; Tauber, M G; Wohrer, A	Towards a Security Baseline for IaaS-Cloud BackEnds in Industry 4.0	International Conference for Internet Technology and Secured Transactions	0	2017	0	90
60	Jæger, B. and Halse, L.L.	The IoT technological maturity assessment scorecard: A case study of norwegian manufacturing companies	Vol. 513IFIP Advances in Information and Communication Technology, pp. 143-150	0	2017	0	90
61	Tonelli, F., Demartini, M., Loleo, A. and Testa, C.	A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 Era	Vol. 57Procedia CIRP, pp. 122-127	0	2016	8	88
62	Leyh, C., Bley, K., Schaffer, T. and Forstenhausler, S.	SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0	Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2016, pp. 1297-1302	0	2016	8	88
63	Abramowicz, W., Auer, S. & Heath, T. Bus	Linked Data in Business	Business & Information Systems Engineering	2,596	2016	2	82

APÊNDICE D - Características de cada nível de maturidade

Características de cada nível de maturidade

NÍVEL 1 - Crítico	Tecnologia	A indústria situada neste nível, pode ser considerada subdesenvolvida tecnologicamente, pois não possui nenhum tipo de conexão de internet e muito menos recursos importantes, como por exemplo: mediação de parâmetros através de <i>smart sensores</i> e a integração das informações em tempo real. A medição de parâmetros (exemplo: temperatura) são realizadas manualmente, todas as informações são transmitidas manualmente em papel, sem controle do histórico de dados.
	Processo	Os processos são controlados manualmente, sem padronização dos procedimentos. As máquinas não são sincronizadas (necessitando a programação cada uma para a produção iniciar), além de não possuir mecanismos para otimizar o consumo de energia. Além disso, a linha de produção é fixa e não consegue se adaptar para atender demandas personalizadas.
	Produto	Não há medidas para identificar as perdas da produção. A matéria-prima, o produto em transformação e o produto acabado não possuem rastreabilidade. A indústria não consegue atender a demanda de lotes variados, assim como não consegue atender pedidos de produtos personalizados, além de não possuir o histórico de produção, produzindo sem identificar o consumo dos clientes.
	Estratégia da Organização	A indústria não possui programa de capacitação para seus colaboradores sobre Indústria 4.0 e não busca por incentivos governamentais quanto ao tema. Além disso, não faz parceria com instituições de ensino para se beneficiar do conhecimento. Não possui a integração de todos os setores com a cadeia de suprimentos, e a indústria não faz uso do planejamento verde (uma fabricação sustentável).
NÍVEL 2 - Alerta	Tecnologia	Possui acesso de Internet em alguns setores específicos, como no administrativo e alguns computadores estão disponíveis na indústria. A indústria possui CLP com rede industrial. As máquinas não possuem acesso à rede de Internet. A medição dos parâmetros é observada através de um visor disponível nos maquinários e as informações são transmitidas parcialmente em papel e parcialmente pelo computador. As informações coletadas dos maquinários estão sendo disponibilizadas no sistema em nuvem que está em sua fase inicial (início de implementação), assim como os sensores que captam os dados dentro da indústria, <i>Big Data Analysis</i> e softwares para a segurança da informação.
	Processo	Fase inicial para o controle dos processos. As máquinas estão na fase inicial para a integração, além de estar na fase inicial na instalação de recursos para otimizar o consumo de energia. A linha de produção está na fase inicial de implementação de recursos para se adaptar, e assim atender demandas personalizadas de seus clientes.
	Produto	A matéria-prima, o produto em transformação e o produto acabado, estão no início de implementação da rastreabilidade. A indústria está na fase inicial de implementação para atender a demanda de lotes variados, assim como para atender pedidos de produtos personalizados, além de começar a entender as necessidades do mercado.
	Estratégia da Organização	A indústria está na fase inicial de implementação de programa de capacitação para seus colaboradores sobre Indústria 4.0, e inicia buscas por incentivos governamentais quanto ao tema. Além disso, a indústria estuda a possibilidade de parcerias com instituições de ensino para se beneficiar do conhecimento. Inicia a implementação da integração de todos os setores com a cadeia de suprimentos, e a indústria começa a desenvolver o planejamento verde (uma fabricação sustentável).

NÍVEL 3 - Aceitável	Tecnologia	Possui acesso à Internet e tem computadores disponíveis na área industrial. A indústria possui PLC com rede industrial. Novas máquinas começam a ter acesso à Internet. As informações coletadas dos maquinários estão sendo disponibilizadas no sistema em nuvem que está em sua fase parcial quanto a utilização, assim como os dados que os sensores captam dentro da indústria, <i>Big Data Analysis</i> e softwares para a segurança da informação.
	Processo	A indústria possui parcialmente o controle dos processos em alguns setores, as máquinas estão na fase parcial para a integração, além de estar na fase parcial na instalação de recursos para otimizar o consumo de energia. Na linha de produção estão sendo implementados recursos para se adaptar, e assim atender demandas personalizadas de seus clientes.
	Produto	A matéria-prima, o produto em transformação e o produto acabado, estão na fase parcial de implementação da rastreabilidade. A indústria está na fase parcial de implementação para se adaptar em atender a demanda de lotes variados, assim como para atender pedidos de produtos personalizados com os processos sendo adaptados.
	Estratégia da Organização	A indústria está na fase parcial de implementação de um programa de capacitação para seus colaboradores sobre Indústria 4.0, e possui parcialmente incentivos governamentais quanto ao tema. Além disso a indústria está na fase inicial de uma parceria com instituições de ensino para se beneficiar do conhecimento. Possui parcialmente a implementação da integração de alguns setores com a cadeia de suprimentos, e a indústria implementa parcialmente o planejamento verde (uma fabricação sustentável).
NÍVEL 4 - Ótimo	Tecnologia	Possui internet de ponta que atende toda área industrial, e disponibiliza computadores por toda área industrial. Algumas informações são gerenciadas via <i>smartphone</i> . As informações estão sendo disponibilizadas no sistema em nuvem, porém a utilização da internet não é frequente, não sendo ágil o armazenamento de dados, ocorrendo atraso na sincronização dos mesmos. Isto ocorre também para a <i>Big Data/Big Data Analysis</i> . Possui sensores captam os dados dentro da indústria em mais da metade da indústria. A Segurança da informação conta com alguns setores, e ainda há a previsão de expansão para os demais setores.
	Processo	Mais da metade da indústria possui controle dos processos nos setores, assim como a integração das máquinas em tempo real. Grande parte da indústria já possui recursos para otimizar o consumo de energia, sendo capaz de monitorar e controlar a energia através de alguns sensores. Mais da metade das linhas de produção se adaptam para atender a demanda do cliente (produtos customizados e lotes diferenciados).
	Produto	Mais da metade da matéria-prima, o produto em transformação e o produto acabado, estão implementados a rastreabilidade. Além disso, mais da metade da indústria possui recursos para se adaptar em atender a demanda de lotes variados, assim como para atender pedidos de produtos personalizados com os processos sendo adaptados.
	Estratégia da Organização	Mais da metade dos setores da indústria estão participando de algum programa de capacitação sobre Indústria 4.0. Mais da metade dos setores possuem incentivos governamentais quanto ao tema. Além disso, a indústria possui parceria com uma instituição de ensino para se beneficiar do conhecimento. Mais da metade dos setores possuem a integração com a cadeia de suprimentos. A indústria implementa em mais da metade dos seus setores/ processos o planejamento verde (uma fabricação sustentável).

NÍVEL 5 - Ideal	Tecnologia	Possui internet de ponta que atende toda área industrial. Utiliza sensores para a captação de dados por toda indústria. Todas as informações são coletadas, armazenadas e disponibilizadas via sistema em nuvem. A sincronização é realizada em tempo real, sendo integrada com a <i>Big Data/Big Data Analysis</i> . A Segurança da informação é integrada com todos os setores.
	Processo	Toda a indústria possui o controle dos processos nos setores. Todas as máquinas estão integradas em tempo real, além de possuírem recursos para otimizar o consumo de energia, sendo capaz de monitorar, controlar e sincronizar com outros sensores, disponibilizando o status de consumo em tempo real. As linhas de produção se adaptam para atender a demanda do cliente (produtos customizados e lotes diferenciados).
	Produto	Toda a matéria-prima, o produto em transformação e o produto são rastreáveis. Além disso, a indústria atende à demanda de lotes variados, bem como pedidos de produtos personalizados. Além disso, os clientes conseguem acompanhar todas as etapas do processo produtivo do produto.
	Estratégia da Organização	A indústria possui equipes multidisciplinares com treinamentos contínuos sobre Indústria 4.0, e busca melhorias contínuas quanto ao planejamento industrial e desenvolvimento de estratégias de mercado, bem como parcerias (com instituições de ensino/ indústria).

APÊNDICE E - Ferramenta de avaliação do nível de maturidade no contexto da Indústria 4.0

FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0
SEGMENTO DA INDÚSTRIA:
CARGO ATUAL DO ENTREVISTADO:
PORTE DA EMPRESA: ☐ Microempresa (ME) - menor igual 19 empregados ☐ Empresa de Pequeno Porte (EPP) - 20 a 99 empregados ☐ Empresa de Médio Porte (EMP) - 100 a 499 empregados ☐ Grandes Empresas - 500 ou mais empregados

DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES A SEREM MENSURADOS NO QUESTIONÁRIO		
Nº	DESCRIÇÃO	AUTORES
1	CPS (Cyber-Physical System): é caracterizado por possuir máquinas inteligentes, sistema de armazenagem e um sistema de produção que possui trocas de informações de forma autônoma e inteligente.	Posada et al. (2015) e Kang et al. (2016)
2	IoT (Internet of Things): Contemplada por sensores, software e a comunicação entre as máquinas e as linhas de produção, permitindo a coleta e a troca de dados através dos sensores inteligentes, além de ser habilitado a analisar os dados com a integração do CPS e Cloud Manufacturing (CM).	Kang et al. (2016) e Weber et al. (2017)
3	IoS (Internet of Service): Internet voltada a serviços, com base na disponibilidade de serviços/produtos através da tecnologia web, que permite aos usuários combinar, criar e oferecer novos tipos de serviços com valor agregado.	Hofmann e Rüschi (2017)
4	Computação em nuvem (Cloud Manufacturing): O conceito de Cloud Manufacturing refere-se ao seu modo operacional, onde os provedores fornecem seus recursos de fabricação, que são transformados em serviços, logo após, agrupados em uma plataforma em nuvem, ou seja, o cliente acessa a plataforma, solicita os requisitos do produto como design e testes, além de gerenciar todas as etapas do ciclo de vida do produto.	Li e Xu (2017)
5	Fog Computing (computação em névoa): é um complemento do Cloud Manufacturing, foi desenvolvida com foco nos dispositivos que estão na borda da rede, com o objetivo de estar mais próximo do usuário e assim descentralizada, por isto o nome de nevoeiro, uma nuvem que está mais próxima dos usuários.	Grüdtner (2017)
6	Inteligência Artificial: Com base na área da ciência da computação, a inteligência Artificial possui como caracterização, simular a capacidade humana de raciocinar, perceber, resolver e tomar decisões.	Fernandes et al. (2018)
7	Segurança da Informação (Information Security): É caracterizado pela proteção de dados, com o objetivo de preservar as informações de uma organização (empresa) ou um indivíduo.	Giacomeli (2015).
8	Sistemas embarcados: Realiza um conjunto de tarefas pré-definidas.	Wang et al. (2016); Thoben, Wiesner e Wuest (2017)
9	Gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM - Product Lifecycle Management): PLM é um sistema que gerencia o ciclo de vida do produto de forma ágil, desde a concepção do produto até a retirada no mercado.	Stark (2015)
10	Manutenção Inteligente (Smart manufacturing - SM): Este modelo de manutenção será proativo, prevenindo eventualidades.	Thoben, Wiesner e Wuest (2017)

DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES A SEREM MENSURADOS NO QUESTIONÁRIO		
11	Fabricação Aditiva (3D - Tridimensional): Auxilia na otimização de tempo e redução de custo para a fabricação dos produtos, permite desenvolver um objeto físico a partir de um modelo digital.	Li e Xu (2017); Kang et al., (2016). Cossetti (2018)
12	Simulação: Para realizar uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponda à situação real que se deseja simular.	Teixeira (2015)
13	Holograma: É uma imagem tridimensional (3D) obtida através da projeção da luz sobre figuras bidimensionais (2D). Essas imagens são formadas através de ondulação da luz (onde os raios de luz se movimentem e simule a realidade do que está sendo projetado).	Amorim (2018)
15	Realidade aumentada (AR - Aumented Reality): É conjunto de tecnologias que sobrepõe dados, imagens digitais em objetos em ambientes físicos.	Porter e Heppelmann (2017)
16	Realidade Virtual (VR - Virtual Reality): Simula um ambiente virtual, através de um sistema computacional.	Coutinho (2017)
17	Produtos inteligentes (smart production): A ideia sobre produtos inteligentes é de que o produto faça parte do sistema, e dessa forma, deve-se implantar um recurso de armazenamento para que os dados sejam armazenados, e desta forma, o produto solicitará recurso caso haja necessidade.	Weyer et al. (2015)
18	Smart sensores (sensores inteligentes): É um dispositivo que recebe dados do ambiente físico e usa recursos computacionais internos para executar funções predefinidas após a detecção de entrada de dados específicos e depois processa os dados antes de transmiti-los.	Rouse (2015)
19	CLP (Controlador Lógico Programável ou Programmable Logic Controller - PLC): É um sistema que comanda de forma automática a execução de funções específicas por maquinário industrial, sem a necessidade de comandos humanos diretos.	Gomes (2017)
20	Rede industrial: Onde ocorre o "transporte" dos dados através dos protocolos, desta forma a informação é transferida de uma máquina para outra.	Souza (2012)
21	Integração vertical: Significa o conjunto de sistemas de produção em rede e permite que o CPS seja utilizado para criar sistemas de fabricação flexíveis e a reconfiguração fabril.	Li e Xu (2017); Leyh et al. (2016) e Posada et al. (2015)
22	Integração horizontal: É a integração das redes de valor, onde acontecem a troca e o gerenciamento de informações através da tecnologia (informações de diferentes agentes dentro do processo produtivo como por exemplo logística e a cadeia de valor), a integração do fluxo de informação é necessário ao longo da empresa horizontal, assim como além das fronteiras da empresa.	
22	Integração de ponta a ponta: Refere-se à engenharia em um todo, onde se acompanha as etapas do ciclo de vida do produto (exemplo concepção do produto, fabricação e cliente).	
23	M2M (machine to machine): É a comunicação entre máquinas.	Neto et al. (2018)
24	Estratégia de mercado: É criar/desenvolver um valor ao cliente, de forma a prosperar e conseguir lucros.	Porter (1996)
25	Marketing 4.0: é um marketing de maior precisão, obtendo conteúdo de maior relevância, valor e interação em tempo real com o cliente.	Roblek; Meško e Krapež, (2016)

DIMENSÃO TECNOLOGIA		
1- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A empresa utiliza Smart Sensores para a medição de parâmetros na indústria?	NÍVEL 1	Não usa.
	NÍVEL 2	Início de implementação.
	NÍVEL 3	Uso parcialmente.
	NÍVEL 4	Uso em metade da indústria.
	NÍVEL 5	Usa totalmente na indústria.
2- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria utiliza algum recurso de Big Data/ Big Data Analysis?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a instalação. A implementação foi realizada em alguns pontos/processos específicos na Indústria, gerando apenas a aglomeração de dados, sem o recurso de análise dos mesmos.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente, pois a configuração ainda é limitada quanto a análise da grande quantidade de dados (<i>Big Data Analysis</i>) em alguns pontos/ processos específicos na Indústria.
	NÍVEL 4	Possui. Porém ainda é limitado, pois o uso da Internet não é frequente, não sendo ágil a análise da grande quantidade de dados tendo atrasado quanto a sincronização dos mesmos por não estar conectada em tempo real.
	NÍVEL 5	Possui totalmente. A instalação é por todos os pontos/processos onde a captação de dados é integrada entre os sensores, e as informações são analisadas e quando necessário, a decisão é tomada, os dados são sincronizados e disponíveis em tempo real.

3- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria utiliza algum serviço de Computação em nuvem (Cloud Manufacturing)?	NÍVEL 1	Não.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a utilização, pois o recurso adquirido é limitado quanto ao compartilhamento em rede, ou seja, limita quanto a disponibilidade de informações.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente, pois o recurso está disponível em alguns pontos/ processos específicos na Indústria.
	NÍVEL 4	Possui, porém ainda é limitado, pois o uso da Internet não é frequente, não sendo ágil quanto ao armazenamento de dados tendo atrasado quanto a sincronização dos mesmos por não estar conectada em tempo real.
	NÍVEL 5	Possui totalmente, com o recurso <i>Fog Computing</i> . Todas as informações são coletadas e armazenadas no sistema em nuvem, possibilitando a agilidade e a flexibilidade sobre as informações disponibilizadas. Cada usuário possui um tipo de acesso específico de acordo com sua responsabilidade.
4- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A indústria utiliza algum recurso de inteligência artificial?	NÍVEL 1	Não.
	NÍVEL 2	Fase inicial. Estudos sobre a necessidade e viabilidade.
	NÍVEL 3	A indústria já utiliza/aplica a inteligência artificial em alguns serviços.
	NÍVEL 4	Utiliza parcialmente, pois essa tecnologia já é parte essencial em alguns processos/setores.
	NÍVEL 5	Uso avançado. Essa tecnologia já está totalmente consolidada na indústria.

5- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A indústria faz uso de algum recurso de Segurança da Informação?	NÍVEL 1	Não.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a instalação. A implementação é em algumas máquinas específicas na Indústria.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente, pois o recurso está disponível em alguns pontos/ processos específicos na Indústria.
	NÍVEL 4	Possui de maneira avançada. Alguns setores já utilizam e há previsão para expansão.
	NÍVEL 5	Possui totalmente, onde todas as informações que estão armazenadas digitalmente estão protegidas
6- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
Possui realidade aumentada (AR- Augmented Reality)?	NÍVEL 1	Não.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente.
	NÍVEL 4	Possui em mais da metade dos setores.
	NÍVEL 5	Possui totalmente.
7- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
Possui realidade virtual (VR - Virtual Reality)?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente.
	NÍVEL 4	Possui em mais da metade dos setores.
	NÍVEL 5	Possui totalmente.

DIMENSÃO PROCESSO		
8- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
Os processos industriais como M2M realizam trocas de informações integradas em tempo real?	NÍVEL 1	Não realizam.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a integração das informações.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns setores.
	NÍVEL 4	Possui em mais da metade na Indústria.
	NÍVEL 5	Possui totalmente a integração da informação na Indústria.
9- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
Os processos industriais possuem recursos de Smart Grids (rede elétrica inteligente) para a otimização de consumo de energia?	NÍVEL 1	Não possuem.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a instalação dos recursos do Smart Grids.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns setores.
	NÍVEL 4	Possui em mais da metade na Indústria.
	NÍVEL 5	Possui totalmente nos processos Industriais, capaz de monitorar, controlar e sincronizar com outros sensores, disponibilizando status de consumo em tempo real.
10- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria realiza manutenção inteligente?	NÍVEL 1	Não realiza.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a instalação dos recursos da Manutenção Inteligente.
	NÍVEL 3	Realiza em alguns setores/linhas de produção.
	NÍVEL 4	Realiza em mais da metade dos processos industriais.
	NÍVEL 5	Realiza totalmente nos processos industriais, sendo capaz de monitorar, controlar e sincronizar com outros sensores, disponibilizando status do estado do equipamento em tempo real, prevenindo quaisquer eventualidades.

11- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria possui algum sistema para gerenciar o ciclo de vida do produto?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a instalação do sistema de gerenciamento do ciclo de vida do produto.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente, onde somente alguns recursos do sistema de gerenciamento do ciclo de vida do produto estão disponíveis em alguns setores do processo produtivo.
	NÍVEL 4	Possui em mais da metade da indústria.
	NÍVEL 5	Possui totalmente nos processos industriais, sendo capaz de acompanhar a concepção do produto até o caso da retirada do produto de mercado, sendo armazenadas e disponibilizadas estas informações em tempo real.
12- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
Na indústria, as linhas de produção são adaptáveis?	NÍVEL 1	Não.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a instalação da linha de produção adaptável.
	NÍVEL 3	Somente em algumas linhas de produção.
	NÍVEL 4	São adaptáveis em mais da metade das linhas de produção.
	NÍVEL 5	São totalmente adaptáveis, sendo automática e flexível para eventos inesperados, atendendo as necessidades individuais dos clientes.
13- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A indústria produz algum componente para a linha de produção através da fabricação aditiva (tridimensional -3D)?	NÍVEL 1	Não.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Produz parcialmente em algumas linhas específicas.
	NÍVEL 4	Produz mais da metade dos componentes da linha de produção.
	NÍVEL 5	Produz totalmente os componentes das linhas de produção.

PRODUTO		
14- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A matéria-prima possui microchip para a rastreabilidade?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em algumas matérias-primas.
	NÍVEL 4	Possui mais da metade já implementada.
	NÍVEL 5	Possui totalmente rastreabilidade da matéria-prima na Indústria.
15- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
O produto em transformação possui microchip para a rastreabilidade?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns produtos específicos.
	NÍVEL 4	Possui mais da metade já implementada.
	NÍVEL 5	Possui totalmente rastreabilidade nos produtos em transformação na Indústria.
16- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
O produto final possui microchip para a rastreabilidade?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns produtos específicos.
	NÍVEL 4	Possui mais da metade já implementada.
	NÍVEL 5	Possui totalmente rastreabilidade nos produtos finais na Indústria.

17- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
Para o desenvolvimento de novos produtos, a Indústria possui recursos para realizar testes e simulações?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns produtos/processos específicos.
	NÍVEL 4	Possui mais da metade implementada na Indústria.
	NÍVEL 5	Possui totalmente para o desenvolvimento de novos produtos/ processos da Indústria.
18- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A produção realiza a fabricação aditiva (tridimensional -3D) de produtos completos?	NÍVEL 1	Não realiza.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Realiza parcialmente em alguns produtos específicos.
	NÍVEL 4	Realiza mais da metade já implementada na produção da Indústria.
	NÍVEL 5	Realiza totalmente para o desenvolvimento de novos produtos da Indústria.
19- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
O cliente possui acesso para acompanhar as etapas do processo produtivo?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns produtos específicos.
	NÍVEL 4	Possui em mais da metade dos produtos.
	NÍVEL 5	Possui totalmente nos produtos da Indústria.

20- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A produção consegue atender pedidos com lotes variados?	NÍVEL 1	Não consegue.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Consegue parcialmente em alguns produtos específicos.
	NÍVEL 4	Consegue para mais da metade da produção da Indústria.
	NÍVEL 5	Consegue totalmente.
21- Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
Os clientes possuem a opção de solicitar produtos personalizados?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns produtos específicos.
	NÍVEL 4	Possui mais da metade da estrutura física já implementada para atender as necessidades do cliente.
	NÍVEL 5	Possui totalmente, onde a indústria consegue atender a demanda personalizada conforme o pedido do cliente.
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO		
22-Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria possui algum programa de capacitação dos seus colaboradores sobre Indústria 4.0?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial de implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns setores específicos.
	NÍVEL 4	Possui. Mais da metade dos setores estão sendo capacitados sobre Indústria 4.0.
	NÍVEL 5	Possui totalmente, todos os colaboradores estão sendo capacitados quando ao conhecimento sobre Indústria 4.0.

23-Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria busca por incentivos governamentais?	NÍVEL 1	Não.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a busca de incentivos governamentais.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente.
	NÍVEL 4	Possui em mais da metade dos setores.
	NÍVEL 5	Possui totalmente.
24-Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria realiza parcerias com instituições de conhecimento?	NÍVEL 1	Não realiza.
	NÍVEL 2	A indústria estuda possibilidades de parcerias.
	NÍVEL 3	Fase inicial de uma parceria.
	NÍVEL 4	Realiza com uma instituição.
	NÍVEL 5	Realiza com diversas instituições.
25-Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria possui recursos de IoS (Internet of Service)?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns setores específicos.
	NÍVEL 4	Possui mais da metade já implementada.
	NÍVEL 5	Possui totalmente, com base na disponibilidade de serviços/produtos através da tecnologia web, que permitem aos usuários combinar, criar e oferecer novos tipos de serviços com valor agregado.

26-Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria possui cadeia de suprimentos integrada com todos os setores em tempo real?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente em alguns setores na Indústria.
	NÍVEL 4	Possui em mais da metade dos setores da Indústria.
	NÍVEL 5	Possui totalmente, onde a integração da cadeia de suprimentos disponibiliza as informações em tempo real em todos os setores da Indústria
27-Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A Indústria possui marketing 4.0?	NÍVEL 1	Não possui.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto a implementação.
	NÍVEL 3	Possui parcialmente.
	NÍVEL 4	Possui mais da metade já implementada.
	NÍVEL 5	Possui totalmente, permitindo uma maior precisão, obtendo conteúdos de maior relevância, valor e interação em tempo real com o cliente.
28-Pergunta	Nível de Maturidade	Resposta
A indústria faz o uso da fabricação sustentável (planejamento verde)?	NÍVEL 1	Não faz.
	NÍVEL 2	Fase inicial quanto ao planejamento sustentável.
	NÍVEL 3	Faz parcialmente.
	NÍVEL 4	Faz em mais da metade dos setores/processos.
	NÍVEL 5	Faz totalmente a fabricação sustentável, afim de aumentar a eficiência dos recursos e a redução dos resíduos através de um planejamento verde, com a utilização de recursos ecologicamente corretos e com a otimização de processos.

APÊNDICE F - Relação entre os principais componentes da Indústria 4.0 com o modelo proposto neste trabalho

Modelos de maturidade		1	2	3	4	5	6	7
		“Toolbox Workforce Management 4.0”	“DREAMY”	“Industrie 4.0 Maturity Index”	“Indústria 4.0-MM”	“Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)”	“The IoT Technological Maturity Model”	“SMMI 4.0”
Componentes								
1	CPS	▲	■	■	▲	▲	X	■
2	IoT	▲	■	■	■	▲	■	■
3	IoS	X	X	■	■	X	▲	■
4	Big Data/ Big Data Analysis	X	■	■	■	■	■	■
5	Cloud Manufacturing	X	■	■	■	▲	■	■
6	Fog Computing	X	X	X	X	X	X	X
7	Inteligência Artificial	X	X	■	X	X	X	X
8	Segurança da Informação	■	■	■	■	▲	X	■
9	Sistemas embarcados	X	■	X	X	X	X	X
10	PLM	X	■	X	■	■	■	■
11	Manutenção Inteligente	X	X	X	X	X	X	X
12	Fabricação Aditiva	X	■	■	X	X	X	X
13	Simulação	X	X	■	X	X	X	■
14	Holograma	X	X	X	X	X	X	X
15	Realidade aumentada	■	■	■	X	X	X	X
16	Realidade Virtual	■	X	■	X	X	X	X
17	Produtos inteligentes	X	■	■	X	▲	■	X
18	Smart sensores	X	X	X	X	X	X	X
19	Integração vertical	X	■	■	■	▲	■	■
20	Integração horizontal	X	■	■	■	▲	■	■
21	Integração de ponta a ponta	X	■	■	■	▲	▲	▲
22	Machine to Machine	X	▲	X	X	▲	▲	X
23	Smart Grids	X	X	X	X	X	X	X
24	Rastreabilidade	X	■	■	X	X	X	X
25	Adaptabilidade	■	■	■	X	X	X	X

Modelos de maturidade Componentes		8	9	10	11	12
		“Industry 4.0 Maturity Model”	“The Digital Maturity Model 4.0”	“Manufacturing Value Modeling Methodology”	“IMPULS - Industrie 4.0- Readiness”	“MMI4”
1	CPS	▲	X	X	X	■
2	IoT	▲	X	X	X	■
3	IoS	X	X	■	■	■
4	Big Data/ Big Data Analysis	▲	X	X	■	■
5	Cloud Manufacturing	X	▲	X	■	■
6	Fog Computing	X	X	X	X	■
7	Inteligência Artificial	▲	X	X	X	■
8	Segurança da Informação	X	▲	X	■	■
9	Sistemas embarcados	X	▲	X	X	■
10	PLM	▲	▲	■	X	■
11	Manutenção Inteligente	X	X	X	X	■
12	Fabricação Aditiva	X	X	X	X	■
13	Simulação	■	X	■	■	■
14	Holograma	X	X	X	X	■
15	Realidade aumentada	X	X	X	X	■
16	Realidade Virtual	X	X	X	X	■
17	Produtos inteligentes	X	X	X	■	■
18	Smart sensores	X	X	X	■	■
19	Integração vertical	▲	X	■	▲	■
20	Integração horizontal	▲	X	▲	▲	■
21	Integração de ponta a ponta	▲	X	▲	▲	■
22	Machine to Machine	■	X	X	■	■
23	Smart Grids	X	X	X	X	■
24	Rastreabilidade	X	X	■	X	■
25	Adaptabilidade	X	X	X	X	■