

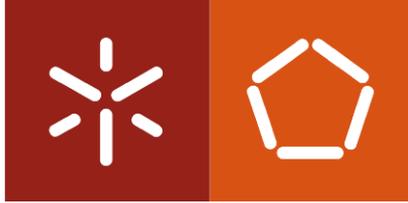
Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Pericles Rezende Coelho

Avaliar o nível de Maturidade/Prontidão para Indústria 4.0 para empresas do Polo Industrial de Manaus (PIM): um estudo de caso

Julho de 2022



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pericles Rezende Coelho

**Avaliar o nível de Maturidade/Prontidão para
Indústria 4.0 para empresas do Polo Industrial
de Manaus (PIM): um estudo de caso**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Industrial
Ramo de Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Rui Manuel Sá Pereira Lima

Julho de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por mais uma etapa conquistada em minha vida, proporcionando um sonho que se realiza, que pela sua infinita bondade e ajuda, deu-me sabedoria e perseverança para superar os tantos desafios ao longo dessa jornada. Em particular gostaria de dirigir os meus agradecimentos:

A minha querida Esposa e a meus filhos com seus apoios, me incentivando em todos momentos de minha vida, através de palavras, força, carinho e amor. Obrigado por estarem sempre junto a mim.

Aos Professores Doutor Rui Lima, meu orientador, e Ricardo Moura, no acompanhamento, nas orientações e esclarecimentos das minhas dúvidas durante o desenvolvimento desta dissertação, ficam os meus sinceros agradecimentos.

Aos meus pais, por todo o apoio e incentivo durante toda a minha vida.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducentes à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

AVALIAR O NÍVEL DE MATURIDADE/PRONTIDÃO PARA INDÚSTRIA 4.0 PARA EMPRESAS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS (PIM)

RESUMO

A Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, tem o objetivo de promover o aumento da produtividade, qualidade dos produtos e a flexibilidade de processos nas indústrias, com objetivo de proporcionar a competitividade e o desenvolvimento econômico de uma determinada região ou país. Diante deste cenário, o presente trabalho tem o objetivo de propor um instrumento para avaliação do grau maturidade e prontidão das indústrias no contexto da Indústria 4.0. Assim, foi realizada uma revisão de literatura abrangendo características, componentes e modelos de maturidade para a Indústria 4.0. Além disso, discussões sobre os impactos nos negócios e na sociedade e a abordagem da Indústria 4.0 em diversos países. Com base nesse conhecimento, foi possível construir um modelo estruturado parcialmente inspirado no modelo Acatech, apoiado por um questionário, na qual os resultados foram tratados e analisados estatisticamente, com objetivo de avaliar a situação atual da indústria em relação ao grau de maturidade alcançado pelas empresas pesquisadas. O modelo foi aplicado em 9 indústrias do Polo Industrial de Manaus (PIM), Amazonas - Brasil, onde foram avaliadas as diferenças entre os graus de maturidade para as indústrias em quatro dimensões: "Recursos", "Sistema de Informação", "Estrutura Organizacional" e "Cultura". O resultado encontrado na aplicação do instrumento constatou que o grau de maturidade se encontra no estágio de "Visibilidade". No entanto, o estudo indicou que boa parte das empresas se encontra no estágio de "Conectividade", demonstrando que existe uma grande diferença entre as empresas pesquisadas. A pretensão do trabalho é servir de apoio na avaliação dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 e auxiliar as empresas e profissionais na implementação dessa nova realidade.

Palavras-Chave

Indústria 4.0, Acatech, Modelo de maturidade.

ASSESS THE LEVEL OF MATURITY/READINESS FOR INDUSTRY 4.0 FOR COMPANIES IN THE INDUSTRIAL POLO OF MANAUS

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution, also called Industry 4.0, aims to promote increased productivity, product quality and flexibility in processes for industries, providing competitiveness and economic development in a given region or country. Given this scenario, this paper aims to propose an instrument to assess the degree of maturity and readiness of industries in the context of Industry 4.0. Thus, a literature review was carried out covering characteristics, components, and maturity models for Industry 4.0. In addition, discussions on impacts on business and society, and the approach to Industry 4.0 in several countries. Based on this knowledge, it was possible to build a structured model, partially inspired on the Acatech model, supported by a questionnaire in which the results were treated and statistically analyzed, in order to assess the current situation of the industry in relation to the degrees of maturity reached by the surveyed companies. The model was applied in 9 industries of the Manaus Industrial Pole (PIM), Amazonas - Brazil, where the differences between the degrees of maturity for the industries were evaluated in four dimensions: "Resources", "Information System", "Structure Organizational" and "Culture". The result found in the application of the instrument found that the degree of maturity is in the "Visibility" stage. However, a study indicated that most companies are in the "Connectivity" stage, demonstrating that there is a big difference between the companies surveyed. The aim of the work is to support the evaluation of the concepts and technologies of Industry 4.0 and to assist companies and professionals in implementing this new reality.

KEYWORDS

Maturity model. Industry 4.0. Fourth industrial revolution

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xii
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Especificos.....	3
1.2.3 Metodologia.....	4
1.2.4 Organização.....	4
2 Fundamentação Teórica.....	5
2.1 Contexto histórico das revoluções industriais.....	5
2.2 Indústria 4.0.....	7
2.3 Conceitos Fundamentais da Indústria 4.0.....	9
2.4 Características das Tecnologias 4.0.....	10
2.5 Tecnologias 4.0.....	12
2.5.1 Internet das Coisas.....	13
2.5.2 Big Data.....	14
2.5.3 Computação em Nuvem.....	15
2.5.4 Inteligência Artificial.....	15
2.5.5 Sistemas Integrados de Gestão.....	16
2.5.6 Robôs.....	17
2.5.7 Manufatura Aditiva.....	18
2.5.8 Simulação.....	19
2.5.9 Segurança de Informação.....	20
2.6 Panorama Mundial da Indústria 4.0.....	21
2.6.1 Europa.....	22
2.6.2 Ásia.....	23
2.6.3 América do Norte.....	24
2.6.4 África.....	25
2.6.5 América do Sul.....	26

2.6.6	Brasil	27
2.7	Modelos de Maturidade	29
2.7.1	Modelo MOM	30
2.7.2	Modelo “DREAMY”	31
2.7.3	Modelo “ <i>Industrie 4.0 Maturity Index</i> ”	32
2.7.4	Modelo “Indústria 4.0-MM”	34
2.7.5	Modelo “ <i>Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)</i> ”	36
2.7.6	Modelo “ <i>The IoT Technological Maturity Assessment Scorecard</i> ”	37
2.7.7	Modelo “SIMMI 4.0”	39
2.7.8	Modelo “Industry 4.0 Maturity Model”	40
2.7.9	Modelo “The Digital Maturity Model 4.0”	41
2.7.10	Modelo “Manufacturing Value Modeling Methodology”	41
2.7.11	Modelo “ <i>IMPULS - Industrie 4.0- Readiness</i> ”	42
2.7.12	Modelo “Toolbox Workforce Management 4.0”	44
3	Metodologia e Desenvolvimento do Modelo	46
3.1	Caracterização da Pesquisa	46
3.2	Metodologia	47
3.2.1	Revisão de literatura	47
3.3	Composição do Modelo	49
3.3.1	Estágios de Desenvolvimento	49
3.3.2	Dimensões	50
3.4	Desenvolvimento do Instrumento de Pesquisa	52
3.4.1	Estratégia do Desenvolvimento de Pesquisa	53
3.4.3	Elaboração do Instrumento de Pesquisa	54
3.6	Aplicação do Instrumento de Pesquisa	59
3.6.1	Unidade de Pesquisa	59
3.6.2	Caracterização das indústrias participantes da pesquisa	60
3.6.3	Tratamento dos dados	62
4	Resultados e Discussão Crítica	63
4.1	Dimensões	63
4.1.1	Recursos	64
4.1.2	Sistemas de Informação	65
4.1.3	Estrutura Organizacional	66
4.1.4	Cultura	68
4.2	Empresas	70
4.2.1	Empresa A	71
4.2.2	Empresa B	72
4.2.3	Empresa C	72
4.2.4	Empresa D	73
4.2.5	Empresa E	73
4.2.6	Empresa F	74
4.2.7	Empresa G	75

4.2.8	Empresa H	75
4.2.9	Empresa I.....	76
5	Considerações Finais	77
6	Referências Bibliográficas	80
Anexo 1 - Tabela de respostas ao questionário		86
Anexo 2 - Questionário.....		87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – From Industry 1.0 to Industry 4.0	06
Figura 2 – Fábrica Inteligente	09
Figura 3 – Design Principles	12
Figura 4 – Tecnologias 4.0	14
Figura 5 – Manufatura Aditiva	19
Figura 6 – Modelo CMM	32
Figura 7 – Model design of the acatech Industrie 4.0 Maturity Index	35
Figura 8 – Stages in the Industrie 4.0 development path	36
Figura 9 – IMPULS model	45
Figura 10 - Resultado encontrado por dimensão	62
Figura 11 - Área de atuação da Zona Franca de Manaus (ZFM)	64
Figura 12 – Gráfico de empresas por segmento	65
Figura 13 – Gráfico dos estágios alcançados por dimensão	68
Figura 14 – Gráfico dos níveis das capacidades alcançados por empresa	69
Figura 15 – Gráfico dos níveis alcançados por capacidade	70
Figura 16 – Gráfico dos níveis das capacidades alcançados por empresa	70
Figura 17 – Gráfico dos níveis alcançados por capacidade	71
Figura 18 – Gráfico dos níveis das capacidades alcançados por empresa	72
Figura 19 – Gráfico dos níveis alcançados por capacidade	73
Figura 20 – Gráfico dos níveis das capacidades alcançados por empresa	74
Figura 21 – Gráfico dos níveis alcançados por capacidade	75
Figura 22 – Gráfico dos níveis alcançados pelas empresas	76
Figura 23 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	77
Figura 24 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	78
Figura 25 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	78
Figura 26 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	79
Figura 27 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	80
Figura 28 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	80
Figura 29 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	81
Figura 30 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	82
Figura 31 – Gráfico dos níveis alcançados por dimensão	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Principais Iniciativas dos países	22
Tabela 2 - Modelo SIMMI 4.0	41
Tabela 3 - Modelo “Industry 4.0 Maturity Model”	42
Tabela 4 - Classificação do Modelo	50
Tabela 5 - Dimensões	53
Tabela 6 - Desenvolvimento de Pesquisa	56
Tabela 7 - Dimensões utilizadas no instrumento de pesquisa	56
Tabela 8 - Tabulação dos dados de questionário para cálculo do alfa de Cronbach	60
Tabela 9 - Caracterização da Empresas entrevistadas	61
Tabela 10 - Respostas	61

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

3D – Dimensão em 3D
ANSI/ISA - International Society of Automation
AR – Augmented reality
BI – Business intelligence
CMM - Capability Maturity Model
CMMI – Capability Maturity Model Integration
CNI – Confederação Nacional da Indústria
CPS – Cyber-physical systems
DREAMY - Digital Readiness Assessment Maturity Model
ERP – Enterprise resource planning
IA - Inteligência Artificial
IoT – Internet of things
IIoT – Industrial Internet of Things
ISO – International Organization for Standardization
KPI - Key Performance Indicator
MA - Manufatura Aditiva
M2M – Machine-to-machine
MESA - Manufacturing Enterprise Systems Association
MES - Manufacturing Execution System
MOM - Manufacturing Operations Management
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio
OT – Operation technologies
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PIM - Polo Industrial de Manaus
PIB – Produto Interno Bruto
PMI – Project Management Institute
SEI - Software Engineering Institute
SOA - Service Oriented Architectures
SPICE - Software Process Improvement and Capability Determination
TI – Tecnologia de informação
ZFM - Zona Franca de Manaus

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o enquadramento em relação ao tema estudado da dissertação, os objetivos, a metodologia e a organização do estudo.

1.1 Enquadramento

O mundo tem passado por uma profunda transformação tecnológica nos últimos tempos. Essas mudanças têm alterado a vida do ser humano: as comunicações (advento da telefonia celular, dos computadores ultravelozes, etc.), as atividades realizadas em casa (lâmpadas inteligentes, lavar louças inteligentes e outros.), o ensino nas escolas e universidades (aulas “*on line*”, *smartphones*, por exemplos), o entretenimento (cinema em 3D, “*streaming*” de áudio e vídeo, entre outros.), os negócios (armazenagem em “nuvem”, teleconferências através de aparelhos portáteis e outros). Na indústria, tem-se registado uma evolução significativa, com a introdução e integração de tecnologias digitais (robótica, *machine learning*, impressão 3D, entre outras) que têm modificado de forma dramática a cadeia de valor e o ecossistema de negócios chamado de “Indústria 4.0” (Oliveira Júnior, 2018).

Conforme Schwab (2016), a Indústria 4.0, como um novo paradigma, traz consigo uma nova proposta de grandes transformações nas indústrias. A implementação de soluções tecnológicas de digitalização e automação refletem algumas das muitas vantagens inerentes aos desenvolvimentos tecnológicos e econômicos que deverão ser potencializados por esta Revolução. Entre esses avanços, destacam-se: *Internet of Things* (IoT) ou internet das coisas, *cyber-physicals Systems* ou sistemas ciberfísicos (CPS), *Big-data* e Integração de Sistemas.

A implementação de tecnologias disruptivas apoiada pelos novos processos de industrialização levará à fábrica inteligentes de processos, isto é, à fábricas inteligentes do futuro. A convergência de tecnologias digitais, como a sensores, influenciará o aprimoramento em áreas, como robótica, sistema de informações, processos industriais, dentre outros. E com isso, levando a uma nova revolução, onde os robôs se tornam “inteligentes” e trabalham colaborativamente com seres humanos. No entanto, isso não quer dizer que a Quarta Revolução não esteja muito distante da realidade de hoje. Os países desenvolvidos economicamente como Alemanha, Japão, Estados Unidos e China já vem contribuindo fortemente para o desenvolvimento de robôs e Inteligência Artificial (AI) em suas indústrias, com investimentos bastantes pesado em nessas áreas (Karabegović & Husak, 2018).

Para Silva (2019), num mundo de constante mudança, as empresas deverão estar constantemente se ajustando para atender às novas exigências e oportunidades em relação a criação de novas cadeias de

valor e inovação. Mueller & Voigt (2018) afirmam que a Indústria 4.0 representa a tendência no aumento do uso de tecnologias de informação e comunicação para promoção da automação no ambiente fabril. De acordo com Oliveira Júnior (2018), as indústrias devem estar atentas às mudanças que os novos cenários econômicos, sociais, ambientais e tecnológicos lhes impõem, adotando novas estratégias para melhorar a efetividade em todos seus processos. Mudanças em suas formas de trabalho devem proporcionar ganhos significativos com a união das novas tecnologias digitais e as novas maneiras de produção, A integração deve ocorrer em nível horizontal, com a participação de todos os "*stakeholders*" da cadeia produtiva e em nível vertical com aumento níveis da automação dos processos industriais, e dessa forma, trazendo à empresa uma maior complexidade e maior maturidade em todas suas cadeias de negócios.

A Revolução Industrial em várias de suas fases ainda não chegou a muitos países em desenvolvimento. No entanto, com a Quarta revolução industrial, as transformações tecnológicas irão criar impactos profundos nestas economias. Portanto, é fundamental que os países mais avançados economicamente devam garantir que esses países não sejam deixados de lado, principalmente em relação às habilidades, a infraestrutura, a finanças e em áreas como tecnologias avançadas. Um outro ponto crucial é em relação aos baixos salários, devido às novas exigências de formação e de aumento salarial, poderá deixar de ser um fator competitivo nesses países, levando a uma migração das empresas mundiais para os países economicamente mais ricos. Como as economias em desenvolvimento deverão aproveitar as oportunidades da quarta revolução industrial? É uma questão chave para o mundo. É imprescindível os avanços em pesquisas para entender e compreender esse questionamento e desenvolver estratégias, adaptando suas formas de implementação para que haja um crescimento sustentável dessas economias (Schwab, 2016).

De acordo com a FIESP (2018), o Brasil vem enfrentando nesta última década uma grave crise política e econômica, dificultando a implantação de soluções baseadas no conceito da I 4.0. Para Firjan (2016) a indústria nacional ainda se encontra em sua maioria na transição da Indústria 2.0 (linhas de montagem e energia elétrica) para a Indústria 3.0 (automação eletrônica, robótica e programação). Em pesquisa realizada pela CNI (Confederação Nacional da Indústria) verificou-se que dos 24 setores industriais brasileiros, 14 deles estão digitalmente atrasados, representando 40% de toda produção industrial brasileira. Para Oliveira Júnior (2018), as indústrias brasileiras devem procurar serem competitivas e adquirir maturidade para se adaptarem às mudanças tecnológicas, econômicas e sociais.

Conforme o ACritica.com (2019), 57% das empresas instaladas no Polo Industrial de Manaus (PIM) reconhecem a importância da Indústria 4.0, mas ainda não a consideram em suas estratégias. De acordo

com o estudo realizado pela FIEAM (Federação das Indústrias do Estado do Amazonas) também revelou uma baixa customização de produtos, inexpressiva modelagem digital e baixa visibilidade de estoque em tempo real.

As organizações estão sempre sob grande pressão para responder ao mercado em constante mudança. Modelos de maturidade (MMs) podem contribuir para a transformação organizacional e renovação das competências nas organizações, identificando as necessidades de mudanças, classificando as capacidades dos elementos de amadurecimento e selecionando as ações adequadas em suas cadeias de negócios. As MMs são ferramentas próprias para documentar o “*status quo*”, promovendo uma visão corporativa para a excelência dos seus processos (Felch et al, 2019).

Para Schwab (2016), prontidão é a capacidade das organizações responderem de forma eficiente às condições impostas pelo ambiente agressivo do mundo dos negócios. A transformação digital vai preparar as organizações para essa nova realidade, por meio de vetores de mudança como novos métodos de produção e tecnologias habilitadoras. O desenvolvimento de um modelo de maturidade 4.0 é o ponto de partida para as indústrias buscarem seu desenvolvimento tecnológico e digital. Além disso, é uma forma dos gestores entenderem as oportunidades da evolução tecnológica a partir de atributos como agilidade, adaptabilidade, flexibilidade, qualidade e sustentabilidade de gestão em tempo real. (Felch et al, 2019).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Efetuar a avaliação do nível de maturidade das indústrias do Polo Industrial de Manaus (PIM) relativamente à Indústria 4.0. O modelo Acatech será uma das principais inspirações para a realização deste estudo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para que o Objetivo Geral seja alcançado, o trabalho será desenvolvido nas seguintes etapas:

- a. Identificar os modelos de maturidade utilizados no domínio da Indústria 4.0 por meio de uma revisão sistemática da literatura;
- b. Caracterizar as dimensões pertinentes à Indústria 4.0;
- c. Relacionar os componentes e os modelos de maturidade voltados para a Indústria 4.0;
- d. Desenvolver um instrumento de avaliação de maturidade/prontidão.
- e. Pesquisar o nível de maturidade das indústrias do Polo Industrial de Manaus.

f. Avaliar os setores industriais do Polo Industrial de Manaus, com intuito de constatar o grau de maturidade/prontidão que os mesmos estão em relação a Indústria 4.0.

1.2.3 Metodologia

O trabalho inicialmente realizará uma revisão literária que estudará o contexto histórico, identificando os componentes da Indústria 4.0 para aprofundamento dos conceitos em relação ao tema estudado. Os modelos de maturidade existentes serão verificados, estruturados, identificados e analisados. Também será feita uma análise do contexto onde será feita a pesquisa. A partir de então, será desenvolvido um modelo de maturidade baseado no índice Acatech para elaboração de uma pesquisa que possa identificar o grau de maturidade das indústrias do Polo Industrial de Manaus (PIM) em relação aos conceitos da Indústria 4.0.

No trabalho de pesquisa deste projeto, será usada a metodologia *survey*, que é um método para coleta de dados primários de uma amostragem de indivíduos. Para Silva & Novôa (2016), o objetivo de uma pesquisa *survey* é a produção estatística quantitativa ou numérica sobre aspectos de uma população. A realização de questionários predeterminados feita aos entrevistados é uma das principais formas de coleta de informações e as respostas constituem-se em dados para análise. Para Freitas et al (2000), a pesquisa pode ser classificada quanto ao seu propósito em: explanatório, exploratório e descritivo. Sendo, a coleta de dados realizada de duas formas: longitudinal e corte-transversal. A longitudinal consiste de uma coleta dos dados ao longo do tempo em períodos ou pontos específicos. No corte-transversal ocorre de um só momento.

1.2.4 Organização

Esta dissertação de Mestrado está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo contempla a introdução, os objetivos gerais e específicos, o enquadramento, a metodologia e a organização.

No segundo capítulo é realizado contexto histórico, a apresentação dos conceitos da indústria 4.0 e suas tecnologias, o panorama da Indústria 4.0 no mundo e os modelos de maturidade para a Indústria 4.0.

No terceiro capítulo é estabelecida a metodologia utilizada na pesquisa, a unidade de pesquisa e as etapas para elaboração da pesquisa: revisão literária, desenvolvimento do modelo de maturidade, as pesquisas e os ajustes.

O quarto capítulo do trabalho apresenta os resultados e as discussões do trabalho.

O quinto capítulo do trabalho foi destinado às considerações finais, com as limitações encontradas no trabalho e as propostas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresenta-se o contexto histórico da Indústria em uma linha do tempo tratando das “revoluções industriais”, no contexto da Indústria 4.0. Depois, é evidenciado o conceito de Indústria 4.0 e os cenários da indústria no mundo. No final deste capítulo, onde são abordados os modelos de maturidade investigados durante a revisão sistemática da literatura.

2.1 Contexto histórico das revoluções industriais

O processo de desenvolvimento econômico proporcionado pelas revoluções industriais, a partir das inovações e novos métodos de produção, levaram a profundas transformações na sociedade. É importante salientar, que o processo de evolução industrial (Figura 1) foi marcado por acontecimentos tecnológicos e sociais que descreveram o momento histórico e a realidade de cada período (Coelho, 2016).

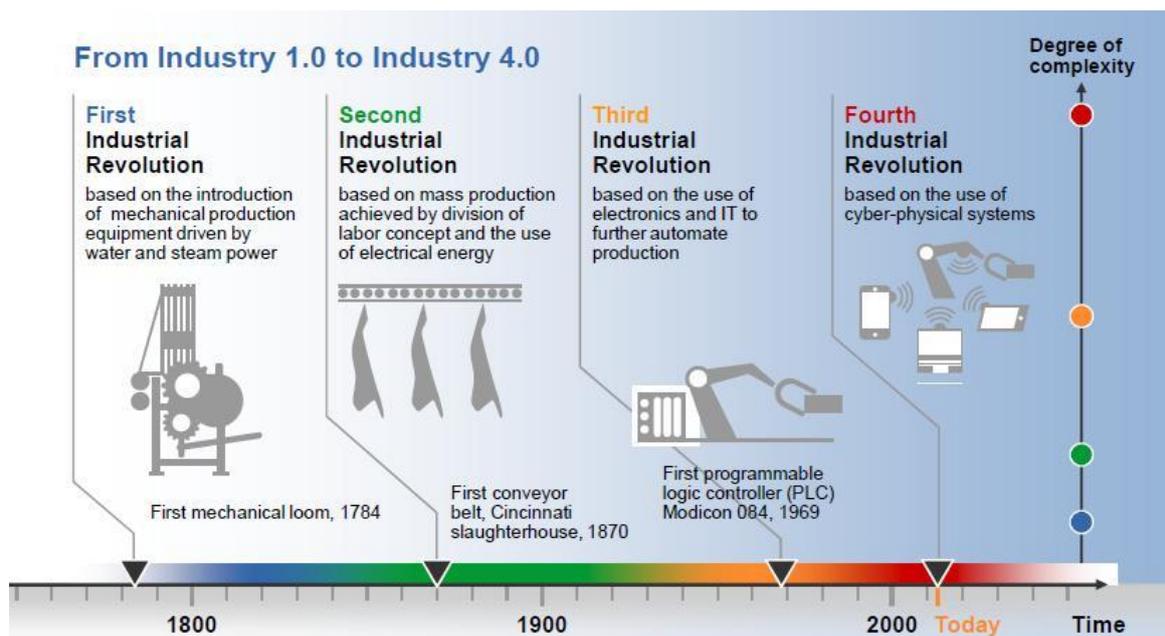


Figura 1 – From Industry 1.0 to Industry 4.0

Autor: Underwood (2017)

O sistema econômico no período entre a Idade Média e a Idade Moderna fundamentou-se no modelo feudal de trabalho. Esse sistema de exploração consistia de uma forma onde os ganhos originados e formas de produção encontravam-se relacionados ao cultivo da terra. Na Idade Moderna, ocorreu a mudança do sistema econômico, do feudalismo para o capitalismo. Essa situação ocorreu, basicamente,

por dois fatores: maior abertura de lucro através do comércio com o conseqüente acúmulo de capital na forma de metais preciosos e o aumento de população ativa sem terra em áreas urbanas para trabalho e consumo. Esse grande número de trabalhadores e desenvolvimento dos grandes centros urbanos, principalmente na Europa, se deveu a um acelerado crescimento do contingente da população e uma ininterrupta migração da zona rural, que permitiu um excedente de mão-de-obra e de baixo custo, gerando crescimento das atividades comerciais e concentração de riqueza para um grupo de pessoas, chamada de burguesia (Miranda, 2012). Além disso, foi neste período que aconteceu o processo de industrialização, com formação de novas técnicas de produção, inovações tecnológicas ocorridas nas indústrias têxtil e mineração e na construção de ferrovias e de navios, e da invenção da máquina a vapor, possibilitando assim maior rapidez na fabricação de produtos. É importante ressaltar que essa conjuntura, definiu a primeira grande Revolução Industrial (Cavalcante & Silva, 2011).

De acordo com Jensen (1993), foi na metade do século XIX que houve outra onda de transformações intensas devido ao surgimento de inovadoras formas de transporte e comunicação: ferrovia, telégrafo, navio a vapor e sistemas de cabos. Em conjunto com a invenção das embalagens de alta velocidade para o consumidor, deram origem aos sistemas de produção e distribuição em massa do final do século XIX e início do século XX, que desencadeou a Segunda Revolução Industrial. Para Conceição (2012), o resultado foi a difusão da para novas regiões, países e indústrias onde não haviam sido afetadas pela primeira onda. Ele considera que a segunda onda foi decorrente da primeira revolução industrial. Sendo a primeira com base nas tecnologias mecânicas impactadas pela energia hidráulica e a segunda, na mecânica da energia a vapor. Além disso, o desenvolvimento das ferrovias levou ao nascimento de novos padrões de finanças, administração, competição e regulamentação governamental e encadeamento para outras indústrias, que precisavam abastecer-se de insumos da revolução tecnológica para suas atividades. Segundo Chiavenato (2011), esses novos paradigmas levaram a introdução de outras formas de manufatura industrial, em que o objetivo era a produção a menor custo e menor tempo: a racionalização do trabalho. Esses modos de produção ficaram conhecidos como taylorismo e fordismo. A Terceira Revolução Industrial teve o seu início no final dos anos sessenta, com a transformação não apenas no setor industrial, mas, também do desenvolvimento de novas tecnologias voltadas aos aspectos sociais e às ciências. Os avanços envolveram áreas diversas como genética, telecomunicações, eletrônica, transporte, que transformaram as relações sociais, o modo de vida da sociedade e o espaço geográfico, promovendo a expansão econômica e a integração dos sistemas produtivos mundiais, por meio de um novo padrão tecnológico, produtivo e de consumo. Todo esse desenvolvimento proporcionado pelos avanços obtidos nestas áreas científicas levou ao nascimento de um novo fenômeno,

chamado de “globalização” (Farah Junior, 200). Além disso, esses novos avanços tecnológicos proporcionaram o surgimento de computadores, de redes de sistemas como *Wireless Area Network* (WAN), *Local Area Network* (LAN) e *Metropolitan Area Network* (MAN), da introdução da robótica na manufatura e do início da *Internet* (Eu automation, 2018).

A evolução da *Internet*, o aumento do poder de processamento e miniaturização de componentes, dispositivos com softwares inteligentes, e máquinas que aprendem e que se comunicam, permitirão a criação de diversas tecnologias e aplicações, possibilitando o aumento da competitividade que irá transformar a indústria do jeito como conhecemos hoje: a Quarta Revolução Industrial. Assim, passamos de um modelo de produção baseado em um sistema Internet/Cliente-servidor para um modelo que realiza a integração dos ambientes digitais e físicos (CPS) com as novas Tecnologias de informação (TI), Tecnologias Operacionais (OT) e Internet das Coisas (IoT) (Coelho, 2016).

2.2 Indústria 4.0

Este conceito nasceu em 2011 a partir de um projeto de estratégias do governo alemão voltadas à tecnologia e melhorias na produtividade das indústrias alemãs. Em 2013, na Feira de Hannover foi apresentado o trabalho final onde foi descrito o quanto as organizações e sua cadeia global sofrerão impactos pela chegada dos novos componentes tecnológicos que levarão a transformação das indústrias em “*smart factories*” (figura 2) (Schwab, 2016).

A Indústria 4.0 não apenas engloba conceitos de automação e tecnologia de informação, mas também melhorias de processos, desenvolvimento de novas formas de trabalho e novas formas de negócios. O objetivo principal são fábricas do futuro, uma rede vertical do sistema de produção inteligente que deverão estar interconectadas digitalmente dentro de um único sistema, permitindo que cada fábrica monitore todos os processos em tempo real e gerenciadas de forma automáticas e interdependentes. (Oliveira Júnior, 2019).

Para Shuh et al (2017), a Indústria 4.0 tem como principais características econômicas: acelerar os processos de tomada de decisão e realizar a adaptação corporativa das empresas para aumentar a eficiência de processos em áreas como engenharia, manufatura, serviços, vendas & marketing, com objetivo de transformar os modelos de negócios. É um processo definido pela disponibilidade de grandes volumes de informações com custo reduzido, realizado em tempo real, proporcionando tomadas de decisões mais rápidas. Além disso, modifica as estruturas organizacionais para que ocorra respostas mais rápidas às condições de mercados, desenvolve novos produtos de acordo com as necessidades dos clientes e fornece produtos com mais rapidez.



Fig. 2. Fábrica Inteligente
(Rezende, 2019)

Na Indústria 4.0, os sistemas de produção significam máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e equipamentos industriais com a capacidade de trocar informações autonomamente, facilitando os processos industriais, a engenharia industrial, as cadeias de suprimentos e o gerenciamento do ciclo de vida de um produto (Kagermann et al, 2016).

Para Tung (2018) na Indústria 4.0, as fábricas irão se tornar flexíveis com redução de prazos de entrega, produção em pequenos lotes e o aumento da qualidade de seus produtos que levarão o crescimento da produtividade e consequente diminuição dos custos de fabricação. Ele afirma que há pesquisas indicando o aumento de eficiência nos processos de produção em 30%, a redução do tempo de fabricação e do processamento de 15 a 25%, melhorando significativamente a produtividade, e o aumento da receita.

Na I4.0 com evolução dos ciberfísicos e da integração dos sistemas embarcados em IoT com dados e serviços haverá uma mudança no controle centralizado sobre os processos de produção (programação de máquinas para produção) para um ambiente onde sensores gerenciam a melhor forma de transformar as matérias primas em produtos acabados. Essa nova abordagem levará a quebra de paradigma em que o bem final assume um protagonismo ativo na cadeia produtiva. Pois, não haverá mais um controle central, mas a peça “informará” ao um produto como deve ser elaborado. (Eu automation, 2018).

A utilização e a integração dos dados e informações obtidas no chão de fábrica, proporcionará um planejamento mais eficiente para possibilitar que as tomadas de decisões sejam mais eficazes. Isso deverá acontecer por meio de sistemas inteligentes como *Data Mining* (Mineração de dados) e o *Big Data Analysis*. A integração dessas tecnologias com sistemas ciber-físicos nas linhas de montagem, na logística

e nos serviços, poderá trazer à empresa a autoconsciência e auto adaptação para o ajuste nos seus processos e reconfiguração dos seus parâmetros de produção (Santos, 2018).

Novos modelos de negócios no ambiente da Indústria 4.0 deverão alterar a forma da entrega de resultados para os clientes. Na fábrica inteligente, os processos industriais deverão ter uma comunicação fluida entre as camadas horizontais e verticais. É importante também acrescentar que nesta “*smart factory*”, seres humanos, máquinas e recursos devem se comunicar tão naturalmente quanto em uma rede social. Os produtos “smarts” saberão os detalhes de como foram fabricados e como deverão ser usados. Além disso, serão personalizados de acordo com as necessidades e desejos do cliente. Suas *interfaces* com mobilidade inteligente e logística tornarão a fábrica inteligente em um componente essencial à infraestrutura inteligente de amanhã, com a transformação das cadeias de valor convencionais em novos modelos de negócios. (Kagermann et al, 2016).

Para Schwab, a Indústria 4.0 proporciona uma nova forma de manufatura, pois as empresas deverão transformar a forma de como é feito seus produtos hoje, e, principalmente, estarem prontas para atender às necessidade do mercado por produtos mais inteligentes e mais customizados. A transformação da indústria de como vemos hoje, trará mudanças econômicas, sociais e culturais de proporções gigantescas, sendo quase impossível prevêê-las.

2.3 Conceitos Fundamentais da Indústria 4.0

De acordo Roblek et al (2016), a Indústria 4.0 é baseada nos seguintes conceitos fundamentais:

- a) Fábricas Inteligentes: as fábricas serão mais “inteligentes”, com o uso de sensores, atuadores e sistemas autônomos. A “*smart technology*” proporcionará a integração digital de produtos com a fábrica (*digital factory*) com a aplicação das tecnologias, proporcionando a auto-otimização e a tomada de decisão autônoma em seus processos;
- b) Sistemas Ciberfísicos (CPS): haverá a integração entre o nível físico e digital. Sistemas embarcados de computadores e cadeias de rede irão monitorar e controlar a produção. *Feedback* contínuo proporcionará informações 'online' e acuradas em suas máquinas, equipamentos e processos.;
- c) Auto-organização: haverá uma grande transformação de como os processos serão controlados, pois com a urgência em responder às novas mudanças em sua cadeias de suprimento e de produção, a empresa deverá modificar as suas tomadas de decisões através da descentralização de seu sistema decisório e auto-organização em toda sua rede valor;

- d) Novos sistemas de distribuição e compra: esses processos serão cada vez mais individualizados, com a conexão entre eles, e vários e diferentes canais de comunicação para geração de eficiência, agilidade e satisfação do cliente;
- e) Novos sistemas no desenvolvimento de produtos e serviços: a inovação aberta e a inteligência do produto, bem como a memória do produto, serão de extrema importância para o desenvolvimento de novos produtos e serviços baseados em necessidades individuais dos clientes;
- f) Adaptação às necessidades humanas: processos de manufatura devem ser criados baseados nas necessidades e nos desejos humanos;
- g) Cidade Inteligente: a transformação nas cidades acontecerá a partir de seis fatores fundamentais: economia inteligente, mobilidade inteligente, ambiente inteligente, pessoas inteligentes, vida inteligente, e governança inteligente. Esses aspectos deverão Interligados com o desenvolvimento de novas tecnologias de TI, em uma nova economia baseada no conhecimento e na combinação das comunicações e transmissão com Internet, redes sem fio, banda larga, sensores e IoT;
- h) Responsabilidade social corporativa: a sustentabilidade e eficiência de recursos deverão ter mais foco no “*design*” de cidades e de fábricas inteligentes. Respeitando a ética no uso de informações privadas, contribuindo com o desenvolvimento econômico, bem como a qualidade de vida de seus empregados e de suas famílias, da comunidade local e da sociedade como um todo.

2.4 Características das Tecnologias 4.0

Para compreender as transformações do advento da Indústria 4.0, é importante entender como as características observáveis (*Design principles*) podem auxiliar no funcionamento das tecnologias para aplicações industriais e porque são fundamentais para o desenvolvimento de processos e produtos. Esses princípios (Figura 3) servem como base da teoria de projeto e para a sistematização do conhecimento, sendo profundamente conectados a sistemas ciberfísicos ou CPS à *Internet* das coisas (IoT). Tais características norteiam os processos de transformação digital (Santos, 2018).

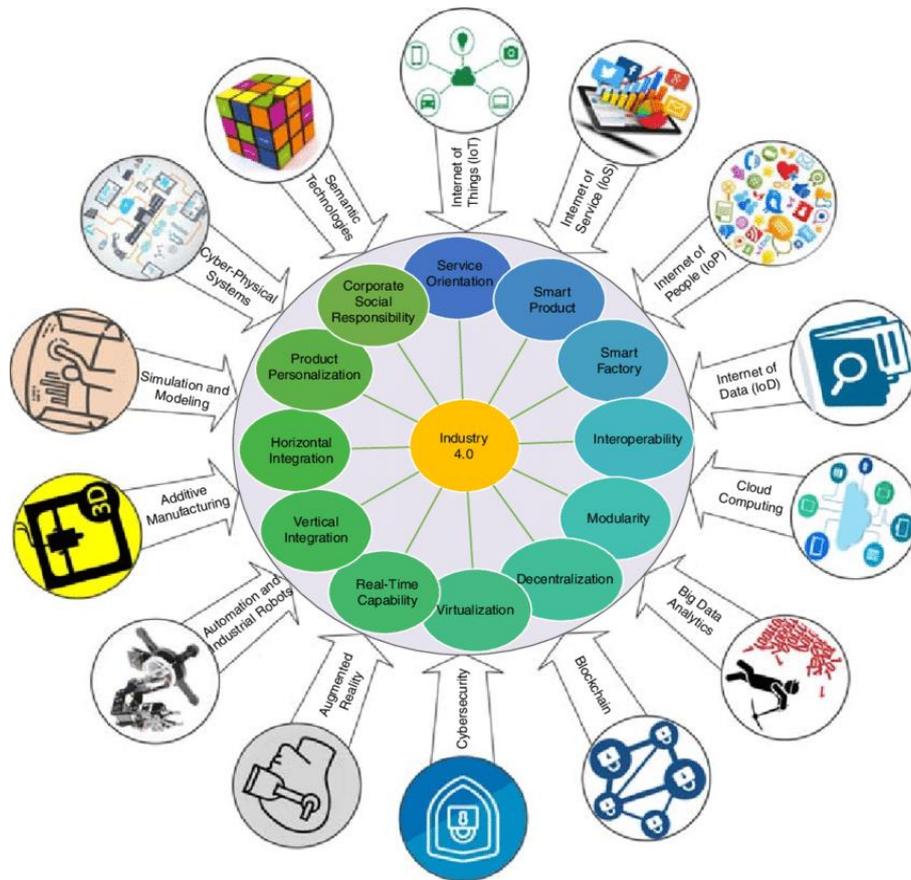


Figura 3. *Design principles*
(Ghobakhloo, 2018)

Para Roblek et al (2016), essas são as principais características das Tecnologias da Indústria 4.0:

- Digitalização: um conjunto de soluções que proporciona um entendimento amplo dos processos da empresa, automatiza a coleta e realiza a organização dos dados. Serve de base para a comunicação, operação e controle remoto dos principais processos de negócio, como desenvolvimento de produtos e serviços, produção, e distribuição. Fornece as informações em tempo real e remotamente.
- Conectividade: a integração de todas as áreas da empresa, desde o chão de fábrica até a direção principal, permite que unidades de produção e equipamentos estejam conectadas em tempo real para o monitoramento do desempenho de cada máquina e processo. Com a conectividade, as empresas obtêm uma vantagem crucial no mercado, possibilitando que sejam capazes de responder mais ágil e adequadamente à competitividade e às mudanças.
- Interoperabilidade: refere-se à capacidade de um sistema de interagir com outro conforme um método definido para realização de tarefas específicas. A troca de informação deve ocorrer de forma íntegra e segura, mesmo se tratando de sistemas que realizam funções diferentes.

- Adaptabilidade: é a capacidade de se adaptar conforme as necessidades a determinadas situações ou condições. O conceito está diretamente relacionado a mudanças em métodos e processos. É a etapa em que os sistemas analisam as tendências e fazem ajustes para otimizar a manufatura de uma empresa, por exemplo. As tecnologias habilitadoras como *machine learning* junto com *big data* e *analytics* podem trazer benefícios como flexibilização e customização de um processo produtivo.
- Escalabilidade: está relacionada a flexibilidade e elasticidade para se adaptar às necessidades do sistema de acordo com os requisitos técnicos exigidos por um processo. Entre outros conceitos, significa atender de forma flexível as variações de variedade e volume de demanda de um determinado sistema.
- Eficiência: significa realizar tarefas ou operações com uma quantidade menor de recursos com o uso adequado de ferramentas, com objetivo de obter quantidades ótimas de produtos ou serviços, ou seja, fazer certo com menor uso, menor desperdício e com pouca ociosidade de recursos.
- Capacidade preditiva: envolve a capacidade da empresa ser capaz de antever a um estado, comportamento, ou funcionalidade em relação a um tempo futuro, a partir do uso informações em tempo real, de algoritmos de análise de padrões e de dados qualitativos ou quantitativos. Este conceito está relacionado a sistemas autônomos e inteligentes.
- Reconfigurabilidade: refere-se à capacidade de um sistema alterar sua estrutura ou configuração, devido falhas ou problemas ocorridos em seu processo. É essencial para reformulação dos seus componentes diante das mudanças ambientais e tecnológicas. Pois envolve redução do tempo para projetar novos sistemas e reconfigurar os existentes. Além da rápida integração de novas tecnologias aos sistemas existentes.

2.5 Tecnologias 4.0

O desenvolvimento e integração das tecnologias Indústria 4.0 nas empresas devem alterar a forma de como o produto é feito hoje em dia, principalmente em relação à estrutura e ao planejamento de produção. A forma de como irá acontecer deverá ser no momento quando os processos industriais forem validados, os conceitos I4.0 integrados e houver a convergência dos ambientes físico e virtual. Dessa forma, trazendo evolução, inovação industrial e transformação no ambiente de negócios (Barateiro, 2019).

Tecnologias disruptivas, como Computação em nuvem, Internet das coisas (IoT), a análise das informações do *Big data* e conjuntamente com Inteligência Artificial tornarão as empresas de manufatura mais “inteligente” e com maior capacidade de enfrentar os desafios atuais, com a produção de produtos mais personalizados, de melhor qualidade e com menor tempo de produção. (Fenerik & Volantel, 2020).

As tecnologias 4.0 (Figura 3) abrem novas possibilidades para as indústrias, como aumento de produção industrial e melhorias em suas cadeias de negócios e desenvolvimento de pessoal. Esse processo de transformação, no entanto, só será plenamente efetivado quando houver a digitalização dos processos produtivos. (Kagermann et al, 2016)

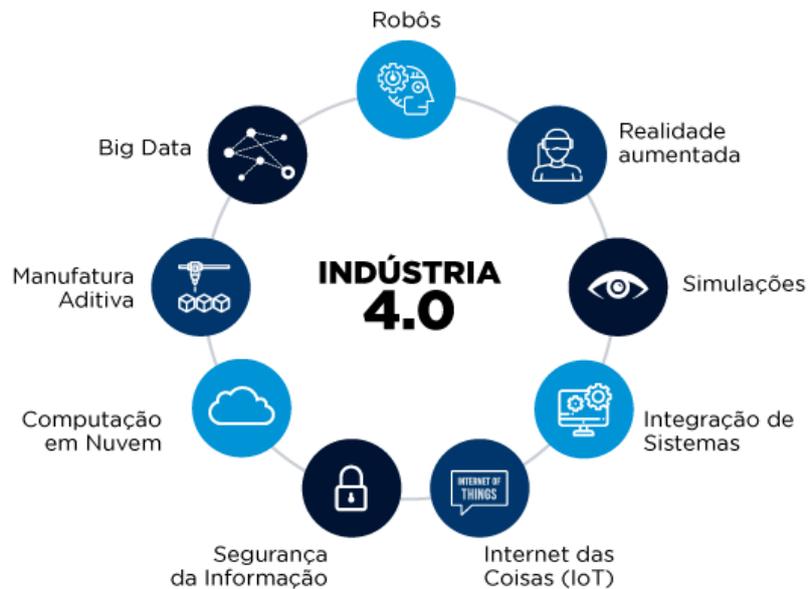


Figura 4. Tecnologias 4.0
(Technicon, 2020)

Abaixo segue um resumo das principais tecnologias e como elas podem impactar na transformação das empresas de manufatura.

2.5.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) na Indústria 4.0 é uma tecnologia que executa tarefas em dispositivos conectados à Internet ou a algum tipo de estrutura semelhante (Barateiro & Emerik, 2019). Podendo ser considerada como uma infraestrutura global direcionada a era digital, onde tecnologias de transmissão de dados interoperáveis com interconexão de coisas físicas e virtuais, servem de base para execução de novos serviços avançados de informação (Magrani, 2018). A combinação das novas tecnologias e a integração de dispositivos no ambiente físico ao mundo virtual possibilitam a exploração e soluções para aplicação de novas tecnologias de comunicação como *Analytics Big data* e *Cloud computing* (Santos et al, 2019).

Nas empresas de manufatura, a IoT está voltada à ambientes abertos, para conectividade segura entre dispositivos, com ferramentas “máquina para máquina” (M2M) e soluções “*edge-to-cloud*”, para que

qualquer dispositivo possa ser capaz de se comunicar entre si ou com interfaces humanas. (Barateiro & Emerik, 2019). Permitindo o monitoramento de processos de manufatura, qualidade de produtos e otimização de gerenciamento energético, com objetivo de conectar a “fábrica inteligente” a todos dispositivos “inteligentes”, para proporcionar tomada de decisões “inteligentes” e de “alto nível” (Roblek, 2016).

Essas mudanças transformam as operações mundiais das indústrias, com softwares velozes e cambiáveis para a produção de máquinas em larga escala, tornando as redes de máquinas em sistemas hiper-conscientes de tecnologia flexível, para responder não apenas aos homens, mas também, as suas próprias percepções e ao seu autogerenciamento (Barateiro & Emerik, 2019).

2.5.2 Big Data

O aumento excepcional dos dados com nascimento da Internet e de dispositivos como celulares e computadores proporcionou um dilema: o excesso de informação. Essa questão vem basicamente do grande volume de dados vindo da Internet; das redes sociais; de dados transacionais (compras de cartão de crédito, registros de ligações); biométricos (identificação automática, DNA, como por exemplo); de informações pessoais; de dados “*machine to machine*” (sensores, dispositivos de GPS,) e de gerados por pessoas (documento eletrônicos, ligações e outros). O conceito de *Big Data* pode ser descrito como um sistema de grande volume, alta velocidade e variedade de ativos que exigem inovação e economia no processamento de informação para tomada de decisão. Além disso, entender a sua natureza, seus recursos, tendências, etc, possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias e novos sistemas de informação e de dados (Álvaro, 2017). Entre as principais formas de tratamento das informações, seriam por correlações entre dados, descoberta de padrões e preferências de usuários (Galdino 2016).

O principal desafio para o *Big Data* é a retirada de dados semiestruturados e não estruturados através de analogia e do processamento de informações. Uma das soluções se daria por meio de ferramentas, como o *Big Data Analytics*, por exemplo. Outra forma, seria com o uso de algoritmos inteligentes, que poderiam ser usados na manutenção preventiva, no treinamento de recursos humanos “*on demand*”, em parâmetros de sistema e na tomada de decisões em tempo real (Galdino 2016). Além disso, com a coleta de dados mais profundos e mais relevantes dos clientes dos parceiros comerciais e dos próprios negócios, proporcionar uma melhoria no relacionamento empresarial e eficiência dos próprios processos internos. Essas técnicas possibilitam que as empresas identifiquem e implementem ações, visando o aumento da eficiência operacional e solução de para seus problemas atuais e futuros (Intel It Center, 2013).

2.5.3 Computação em Nuvem

A computação em nuvem ou *Cloud Computing* é uma tecnologia que permite a utilização de diversos tipos de ferramentas computacionais por meio da *Internet*. A partir de dispositivos como notebooks, celulares e *tablets*, é possível acessar remotamente praticamente todos tipos de informações, arquivos ou programas dentro de um único sistema. Nesse sistema, os dados disponíveis não estarão mais salvos em um disco rígido ou *mainframe*, mas disponíveis em uma rede virtual de computadores (Fernandes et al).

A Computação em Nuvem é um campo de pesquisa multidisciplinar que resultou do avanço e do desenvolvimento de vários sistemas informacionais: tecnologias da informação e de rede, a *Internet*, a virtualização e a computação em rede. Promovendo uma transformação nos negócios e na infra-estrutura de TI e na forma de como é realizado o armazenamento das informações e a disponibilidade destas (Santos, 2019).

Com o mundo cada vez mais virtual, a Computação em Nuvem mostra ser uma sistema eficiente para o aumento da produtividade e da conectividade nas empresas de qualquer segmento ou tamanho. Permite que plataformas sejam capazes de unir robótica, automação e IoT, proporcionando benefícios como a implementação de processos, classificação de sistemas, análise e obtenção ou armazenamento das informações. Diminuindo assim, o tempo de atividades e o melhor aproveitamento dos recursos (TOTVS, 2019).

A Computação em Nuvem surge como um dos principais transformadores nos negócios da indústria, com a mudança dos modelos tradicionais de manufatura para o alinhamento com a inovação de produtos e novas estratégias de produção (Santos, 2017).

Como parte do conceito de Computação em Nuvem, existe uma outra aplicação chamada de Manufatura na Nuvem (*Cloud Manufacturing*), que é a transição para fabricação orientada a serviços, e, como a Computação na Nuvem, é apontada como um novo domínio multidisciplinar que abrange tecnologias como Fabricação em rede, Rede de Fabricação (MGrid), Fabricação Virtual, Manufatura ágil, Internet das Coisas, e logicamente, Computação em Nuvem. A Manufatura em Nuvem espelha tanto a definição de "integração de recursos distribuídos" quanto a definição de "distribuição de recursos integrados" (Oliveira, 2018).

2.5.4 Inteligência Artificial

Para Altuncan (2019), Inteligência Artificial (IA) é um computador com capacidades específicas da inteligência humana: conhecimento, percepção, visão, pensamento e tomada de decisão. Além disso,

automatiza a aprendizagem repetitiva, possibilitando que máquinas aprendam com experiências, se ajustem a novas entradas de dados e executem tarefas iguais aos seres humanos. O uso de redes neurais (sistema computacional que funciona semelhante ao cérebro humano) permite que a IA possa ser aplicada em boa parte das atividades industriais, desde sistemas otimizados de múltiplas máquinas até pesquisas industriais.

De acordo com a TOTVS (2019), a IA proporciona a automação de atividades lógicas, analíticas e cognitivas, o aumento da velocidade no tratamento de informações e suporte à automação das tarefas físicas, principalmente da robótica, na área fabril. Além disso, com a combinação com outras tecnologias, como Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV), promove uma melhoria dos treinamentos de pessoal e assistência cognitiva ao processo de aprendizagem dos colaboradores.

Os Sistemas de Inteligência Artificial devem possuir tecnologias de processamento e de armazenamento mais avançadas e mais acessíveis para que equipamentos industriais possam tomar decisões corretas e em um curto espaço de tempo. E através de um conjunto de técnicas (aprendizado estatístico ou neuronal, regressão linear e *deep learning*), possam atuar em situações complexas e contexto dinâmicos, como no caso de uma máquina de SMD (*Surface Mounted Device*) para prever e tomar uma decisão autônoma em relação à uma sequência de defeitos anteriormente ocorrido, com rapidez e em tempo real (Bigonha, 2018).

2.5.5 Sistemas Integrados de Gestão

Sistemas Integrados de Gestão (SIGs) são sistemas que integram diferentes atividades ou unidades de uma empresa com a centralização de dados em uma única plataforma. As informações levantadas por esse programa de gestão ou ERP, sigla em inglês para "*Enterprise Resource Planning*", possibilitam diagnósticos minuciosos para tomadas de decisão e execução de atividades em tempo real (TOTVS, 2019).

Para Deloitte (2020), na Indústria 4.0, os conceitos integrados de gestão, por meio de conexão de informação, possibilitam flexibilidade, eficiência e planejamento, controle e transparência em áreas como produção, logística e vendas, por exemplo. Além disso, com a utilização de dispositivos de entrada e saída, como *scanners*, dispositivos de ilustração e comunicação e de outros sistemas de *hardware-software* permite a execução de operações internas e entre empresas com maior facilidade e eficiência. Para Gervalla & Ternai (2019), existem quatro dimensões na quais produtos inteligentemente conectados podem contribuir para os SIGs:

- Monitoramento, acompanhamento em tempo real das informações relacionadas aos produtos.
- Controle, capacidade de operar remotamente os equipamentos industriais.
- Otimização, gerenciamento dos recursos com dados gerados a partir do monitoramento em tempo real, otimização operacional do produto e capacidade de produção.
- Autonomia, auto-otimização, coordenação e diagnóstico de processos.

O uso de um SIG constitui-se numa complexa mudança de processo com vários aspectos organizacionais: cultura empresarial, pessoas, mudanças de *hardware*, *software*, dentre outros. A transformação deve ocorrer de uma lógica, buscando compreender que esses elementos são partes de um sistema maior, em que os processos, cada qual com seu objetivo, precisam estar integrados com um todo. Além disso, o fluxo das atividades, seja ele informatizado ou não, deve ser gerenciado por um método condutor que guiará todo processo. Dessa forma, as análises e os estudos das metodologias das cadeias de valor, que são fundamentais para as empresas, possibilitam auxiliar o planejamento e monitoramento das atividades desde a mais simples até a mais complexa (Souza, 2000).

2.5.6 Robôs

Robótica é o estudo que abrange a construção de sistemas tecnológicos controlados automaticamente sem a necessidade de intervenção humana (Azevedo et al, 2010). No mundo, o desenvolvimento de robôs tem sua aplicação desde estudos científicos de habilidades autônomas e cognitivas até a realização de tarefas específicas em ambientes com pouco ou sem controle humano. O objetivo é que possam trabalhar em atividades que englobam adaptação à aprendizagem ou ajustes de estratégias de determinadas partes de um sistema (Garcia, 2020).

Na indústria, originalmente robôs foram empregados com o objetivo de automatizar linhas de produção a fim de obter altos volumes de produção, diminuição de custos e aumento da qualidade. (Silveira, 2016). Agora, com a integração de robôs com tecnologias digitais como TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação), sensores e atuadores tem possibilitado uma melhoria significativa no controle dos processos industriais, proporcionando uma automação total ou a "automação inteligente" nas indústrias (Karabegović & Husak, 2018).

A utilização de tecnologias 4.0 como inteligência artificial, biotecnologia, neuro tecnologia, *blockchain*, internet das coisas e impressão em 3D está trazendo inovação e aumento de produtividade às empresas de manufatura. E conjuntamente com o uso de robôs, proporciona um aumento dos benefícios nos processos industriais como: redução de custos, rapidez, qualidade, entre outros (Fenerik & Volante, 2020).

2.5.7 Manufatura Aditiva

Conforme a ISO/ASTM 52900:2015 (2015), Manufatura Aditiva (MA) é um processo de união de materiais para fazer peças com dados de modelo 3D, geralmente camada após camada. Para Paolini et al (2019), é uma alternativa aos processos de fabricação convencionais em que o material é produzido em moldes ou retirado por fresagem, por exemplo. Os processos de MA podem ser divididos em sete categorias: extrusão de material, jateamento de materiais, jateamento de ligantes, fusão de leito de pó, deposição de energia direcionada, fotopolimerização em cubas e laminação de chapas. As técnicas de MA são usadas em vários setores para criar protótipos físicos e peças para uso final e desenvolvidos para aplicações de pequena e grande escala industrial. A Manufatura Aditiva permite produzir estruturas bastante simples e estruturas geometricamente complexas a partir de um modelo digital com especificações próprias (Figura 5), podendo variar de materiais ou da automatização de um processo.



Figura 5 – Manufatura Aditiva
Venus Cargo (2021)

A forma de produzir, como é amplamente feito hoje, em uma única etapa de fabricação, continuará em larga escala por um bom tempo. No entanto, é tido que a tecnologia Manufatura Aditiva se tornará uma forma de produção generalizada e coexistindo com a fabricação tradicional. A tecnologia de fabricação “laser” aliado com o uso de materiais avançados será empregado com mais frequência. Em alguns casos, até poderão ser mais superiores que as tecnologias de produção convencionais. Contudo, a forma de produção não será determinada pelo objeto, mas pelas técnicas de união e pelos parâmetros do processo das máquinas a serem utilizadas. (Gausemeir et al, 2016).

2.5.8 Simulação

O objetivo de tecnologias de simulação é que processos sejam capazes de reproduzir nos estágios de desenvolvimento, criação ou aperfeiçoamento, um ambiente virtual com características de um mundo real (Randon & Ceconello, 2019).

O emprego de simulações virtuais com tecnologias como *Big Data*, *Machine Learning* e Inteligência Artificial permite identificar pontos de evolução nos processos, apontar soluções, testar cenários, efetuar mudanças e mensurá-las. Esse processo visa assim analisar variáveis e as estratégias para identificar e gerenciar melhor os riscos do negócio, evitando resultados indesejáveis, como desperdícios, custos excessivos, erros ou retrabalhos (Ind4.0, 2020)

A simulação proporciona uma excelente resposta em relação às modificações propostas de um sistema existente ou no desenho de um novo sistema. Uma modelagem bem feita, facilita a análise prévia de todas as etapas, gerando conhecimentos para a tomada de decisão e aprendizagem para a evitar problemas e buscar a solução em relação às diversas situações que ocorrem em um processo produtivo (Abreu et al, 2017).

A aplicação da simulação é realizada de *softwares* específicos. Eles capturam dados, analisam e testam as hipóteses (TUNKERS, 2020). No entanto, a sua eficiência depende da quantidade e qualidade dos dados. Para isso acontecer, é fundamental que a empresa tenha uma estrutura de dados organizada, unificada e padronizada, para que os programas de simulação possam ser usados (Ind4.0, 2020).

Para Pederneiras (2019), a simulação coleta as informações e verifica qual situação atual de uma produção industrial, identificando os problemas e quais soluções devem ser propostas para resolvê-los. A principal vantagem é a redução de desperdício, pois evita um gasto desnecessário em um processo na qual pode ser viável ou não e alocando recursos para ações já validadas. Para acontecer a simulação, é preciso seguir este roteiro:

- **Definição de problema:** identificar o que precisa ser melhorado no processo fabril, gerado da análise do processo, com o reconhecimento dos gargalos e das variáveis de que ele composto para encontrar as soluções possíveis.
- **Validação:** escolher uma das soluções encontradas e realizar a simulação em sistema para determinar se esta é a melhor escolha para a necessidade inicial.
- **Melhoria:** realizar um "benchmarking" tanto internamente como externamente para apoiar a validação do processo.
- **Implementação:** com os resultados e as soluções encontradas pelo programa de simulações, pode se iniciar a implementação das melhorias.

- **Metrificação:** a última etapa, se relaciona ao monitoramento das melhorias e a incrementação do processo conforme a necessidade da empresa.

2.5.9 Segurança de Informação

A interconexão de sistemas como a *Internet* e de tecnologias de comunicação de dados como *Cloud Computing* e *Big Data* se torna um grande desafio em relação com a segurança de sistemas das organizações devido a forma de como é feita a interação dessas tecnologias com o mundo exterior. Ao mesmo tempo, cria vários benefícios no ambiente fabril como acesso aos dados em tempo real e gerenciamento remoto dos dispositivos implantados nas linhas de montagem. Porém, essas vantagens podem facilitar o surgimento de várias brechas para ataques cibernéticos aos sistemas de informação das organizações. Assim, é fundamental analisar e compreender as ameaças à cibersegurança causadas por essas tecnologias e a quais suas influência na criação de planos para detecção de invasão aos sistemas de informação e operacional da empresa (Rubio et al, 2019).

O avanço tecnológico na Indústria 4.0 irá revolucionar a forma como as empresas lidam com a geração de dados. Essa questão se torna um ponto fundamental, pois a integridade e segurança desses dados são peças chaves na segurança dos sistemas de informação. Assim, como possuir um sistema de segurança eficiente torna a empresa confiável e seus processos mais seguros em relação a ataques cibernéticos (Basseto, 2019)

De acordo com Algar Tech (2020), para responder eficientemente às questões de segurança digital é preciso saber em que grau que a empresa se encontra em relação a cibersegurança, levando em conta a sua capacidade e clareza para a condução de uma boa gestão de riscos. Para isso, ele deve ser composto dos seguintes requisitos:

- programas de segurança que identifique e bloqueie ataques cibernéticos;
- ferramentas e técnicas para reação e resposta a um ataque direcionado;
- integração entre infraestrutura e rede de sistemas para implementação;
- suporte e monitoramento dos sistemas de segurança.

Uma outra questão preocupante, é que boa parte dos dispositivos utilizados em fábrica são construídos geralmente de um grande número de componentes manufaturados por vários fornecedores, em locais dispersos (possivelmente sujeitos a diferentes restrições administrativas e legais) com diversos *softwares* incorporados nos dispositivos, abrindo uma grande oportunidade para ataques aos sistemas de informação da empresa (Enisa, 2020).

2.6 Panorama Mundial da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é um termo amplo que alcança diferentes entendimentos, indústrias, propósitos corporativos, tecnologias e campos de estudo, sendo sua abordagem holística, um dos seus principais pontos fortes. Esse conceito foi definido pela *Globo. Industrie 4.0* que serviu de modelo para empresas do mundo inteiro, difundindo idéias como integração vertical de máquinas inteligentes, produtos e recursos de produção em sistema de manufatura flexível e a sua integração horizontal com cadeias de valor. O objetivo e as definições da I4.0 estão em constante evolução devido ao contínuo desenvolvimento de novas abordagens, novos conceitos e novas soluções por parte de empresas e das instituições de pesquisa, e, de discussões nas mídias, nos governos e na sociedade em geral. Neste contexto, é fundamental a identificação de pontos convergentes e discordantes em relação à compreensão e ao foco da Indústria 4.0 nos diversos países para busca de uma cooperação eficiente e padronização de formatos em uma conjuntura internacional (Kagermann et al, 2016).

A velocidade e a complexidade transição para a nova era da digitalização vai além das fronteiras organizacionais e territoriais que em meio às suas necessidades de crescimento e melhorias em suas indústrias, os países lançaram políticas de desenvolvimento industrial, com foco em tecnologia e inovação (Liao et al, 2018). No quadro abaixo é mostrado as principais iniciativas e os países que os lançaram.

Tabela 1 – Principais Iniciativas dos Países - adaptado de Liao et al (2018)

País	Documento	Ano	Objetivos
Alemanha	“Industrie 4.0”	2013	Fornecer a visão do futuro, recursos de integração e área prioritárias para ação e transformação a partir da inovação.
França	La Nouvelle France Industrielle	2013	Realizar a modernização do parque industrial com a transformação de seu modelo econômico por meio da tecnologia digital.
Reino Unido	Future of Manufacturing	2013	Apoiar e impulsionar a inovação e o quadro estratégico da indústria até 2050
Holanda	Smart Industry	2014	Fortalecer a indústria holandesa para aumento da produtividade
Espanha	“Indústria Conectada 4.0”	2015	Promover a transformação digital da indústria espanhola através da ação conjunta e coordenada dos setores público e privado.
Suécia	Smart Industry	2016	Fortalecer e capacitar das empresas para mudanças e competição advinda da Indústria 4.0
Itália	Piano Nazionale Indústria 4.0	2016	Definir de medidas estratégicas e complementares que a Itália deve implementar de 2017 a 2020
União Europeia	The Fourth Industrial Revolution	2016	Fortalecer os estados membros e melhorar a inovação no setor empresarial.
Japan	“Super Smart Society”	2015	Identificar ações para criação de novo valor com objetivo de desenvolver a indústria e transformar a sociedade para o futuro, com a concretização da “Super Smart Society” e liderança mundial.

País	Documento	Ano	Objetivos
Korea	“Manufacturing Innovation 3.0	2014	Promover e realizar a “smartization” de 10 mil fábricas por meio da integração de TI, software, serviços e novos métodos de produção, como a impressão 3D, até o ano 2020.
Taiwan	Taiwan Productivity 4.0 Initiative”	2015	Promover a aplicação de tecnologias "inteligentes" para a atualização e transformação não apenas das indústrias de manufatura tradicionais, mas também das indústrias de serviços e agricultura.
México	“Crafting the Future”	2016	Buscar oportunidades, desenvolver capacidades e fornecer uma visão de longo prazo para sua manufatura.
Canadá	“Industrie 2030”	2016	Dobrar o valor agregado da economia digital pela indústrias de manufatura, processamento, tecnologia e serviços até 2030
Singapura	“Research, Innovation and Enterprise 2020 Plan”	2016	Aumentar as capacidades de pesquisa e desenvolvimento da indústria, estimulando empresas inovadoras para atender as necessidades nacionais
Índia	Make in India”	2014	Fomentar investimentos e construir a melhor infraestrutura de manufatura em seus 25 setores.
Estados Unidos	“Advanced Manufacturing Partnership”	2011 2014	Reunir governo federal, indústrias e universidades para criar um ambiente fértil para a inovação e investimentos em novas tecnologias e metodologias de design.
China	Made in China 2025”	2015	Priorizar dez campos do setor manufatureiro com objetivo de acelerar a informatização e a industrialização

2.6.1 Europa

A indústria europeia perdeu muito espaço nas últimas duas décadas e desde 2000 tem visto sua participação no mercado mundial diminuir fortemente. Somado a este resultado de desindustrialização, países emergentes liderados pelo BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), entre 1990 e 2011, registraram um crescimento vigoroso, em valor agregado, de até 6.577 mil milhões de euros em relação à produção industrial global. No mesmo período, os países tradicionalmente industrializados tiveram a produção de 17% de média em valor agregado, enquanto nos países emergentes, o percentual foi de 179%. No entanto, Alemanha, Itália e Suíça mantiveram sua taxa de industrialização em cerca de 20% (Roland Berger Strategy Consultant, 2019).

Para a Roland Berger Strategy Consultant (2019), há uma oportunidade para Europa aumentar sua taxa de crescimento da indústria de 15% para 20%. A sua sólida infraestrutura industrial, muitos países estão em uma boa posição (equipamentos, conhecimento, experiência e redes), possibilita melhores condições de abraçar a “nova” indústria baseada nos conceitos da Indústria 4.0. Essa mudança será a grande vantagem competitiva econômica em relação a seus concorrentes globais. Para isso acontecer, é preciso que a Europa tenha um roteiro provido com estímulos e práticas para a comunicação da visão da Europa de ser o principal centro da Indústria 4.0 no mundo.

De acordo com Santos (2019), é esperada que Indústria 4.0, com a integração de suas tecnologias, influencie a transformação da indústria europeia, aumentando a eficiência dos recursos e sustentabilidade dos sistemas de manufatura, melhoria das cadeias valor através de processos colaborativos, e principalmente, o estreitamento de relacionamento com seus clientes, oriunda da personalização de produtos e serviços. Com a digitalização dos processos industriais, haverá um crescimento industrial de, aproximadamente, 15% a 20% até 2030. Além disso, trará à cadeia de suprimentos, uma diminuição no tempo de resposta a imprevistos nos pedidos (cerca de 300%), aumento da entrega dos pedidos (cerca de 120%) e aumento do tempo de reposição de itens no mercado (cerca de 70%).

2.6.2 Ásia

A Ásia é reconhecida hoje como um centro mundial de manufatura. Muitas empresas ocidentais migraram suas produções para a China e os outros países asiáticos devido ao seu custo baixo de produção e ao seu baixo custo de mão-de-obra. Mas, essa situação poderá reverter esse quadro, com a adoção das aplicações Indústria 4.0 na indústria asiática, como automação e lot, proporcionando um grande salto para o aumento da produtividade que refletirá em redução de custo de manufatura e produtos melhores e com mais qualidade (Delacharlerie, 2017).

Os países asiáticos dependem de uma indústria manufatureira forte para o crescimento de suas economias. Há diversas iniciativas por parte das empresas locais em investimentos em robôs, automatização de linhas e estabelecimento de alianças e parcerias do setor para impulsionar os avanços tecnológicos. Além disso, empresas internacionais estão trazendo tecnologias de ponta para seus locais de produção na Ásia. Contudo, o nível de avanço tecnológico em relação às infraestruturas de produção no desenvolvimento da Ásia-Pacífico ainda permanece desigual, com uma grande dificuldade em classificar e analisar os dados da economia digital e das cadeias de valor da região. Isso se deve, principalmente, à falta de um conceito claro de economia digital e de estatísticas confiáveis dos principais componentes e dimensões da Indústria 4.0. (Nokia, 2019)

De acordo com Sedik (2018), no período de 2005 a 2015, em boa parte da Ásia, a tecnologia da informação e comunicação (TIC) teve um crescimento muito mais rápido e consistente que o Produto Interno Bruto (PIB) da região. Em países como Índia e Tailândia, o crescimento em TIC teve um aumento muito superior aos seus próprios PIBS. No Japão, o crescimento foi quase o dobro e em relação a China, a cada um aumento de 1 ponto percentual representou 0,3 ponto.

Na China, o governo lançou o plano “Made in China 2025”, em resposta às políticas de digitalização industrial dos países líderes em manufatura e às estratégias propostas pela Indústria 4.0 do governo alemão. Neste documento, são apresentadas as principais diretrizes econômicas adotadas pelo governo para a indústria em um período de médio e longo prazo. Setores como, aviação, maquinário, robótica, setor naval de alta tecnologia, equipamentos de transporte ferroviário, veículos de energia limpa, equipamentos médicos e tecnologia da informação deverão receber um aporte governamental direto para desenvolvimento de estratégias de novas tecnologias. Além de servir como uma estratégia nacional para resolver problemas internos da economia chinesa em relação às políticas econômicas voltadas às inovações tecnológicas (Santos, 2019).

2.6.3 América do Norte

O sistema de inovação americano é muitas vezes apontado como um dos principais responsáveis pela força motriz do país. Contudo, nas últimas décadas, a participação da indústria americana em relação ao seu PIB teve uma queda bastante acentuada, principalmente na área tecnológica. Estudos sugerem que a liderança dos Estados Unidos da América (EUA) na manufatura encontra-se em situação preocupante. Em 2003, os EUA perderam a colocação de maior exportador mundial para a Alemanha (Daudt & Willcox, 2016). Em 2009, a China superou ambos. Em 2011, o governo dos Estados Unidos iniciou uma série de discussões sobre o futuro da indústria americana, chamado de “*Advanced Manufacturing Partnership (AMP)*”, reunindo governo federal, indústrias e universidade, com objetivo de fomentar a inovação, investimento em novas tecnologias e *design* (Liao et al, 2018). Com a sua indústria baseada em IoT, produção inteligente e internet industrial baseada na indústria 4.0, poderá reverter esta situação, abrindo espaços para a novas tecnologias, como sensores e redes WI-FI (Kagermann et al, 2016).

O Canadá é um dos países que menos investem em tecnologia digital, resultando no baixo nível de produtividade em suas fábricas. De acordo com um estudo realizado pela BDC (*Business Development Bank of Canadá*), no setor industrial, apenas 3% das empresas têm projetos da 4.0, outros 36% estão no meio processo e 42% não estão ainda nem no estágio inicial. Neste estudo realizado, foram encontradas três barreiras que afetam o desenvolvimento tecnológico do país: falta de acesso às informações tecnológicas; alto custo de novos equipamentos e das novas tecnologias e habilidades e conhecimentos dos seus trabalhadores. (CM&E, 2019).

A indústria mexicana é muito competitiva devido aos baixos custos de mão-de-obra. No entanto, em relação às tecnologias digitais, seu desenvolvimento ainda é muito lento. De acordo com uma análise da Unidade de Inteligência Social (SIU), baseada em informações da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o México tem um dos piores índices da organização em relação à Internet das Coisas, pois há apenas dois dispositivos conectados para cada 100 habitantes. Além disso, não há especialistas suficientes para atender à demanda e ajudar na implementação e desenvolvimento de novas tecnologias (Deloitte, 2020).

2.6.4 África

A mudança da indústria tradicional para indústria baseada em tecnologia é uma quebra de paradigmas em relação às suas indústrias e sua força de trabalho. Os governos locais devem implementar políticas que ajudem as empresas a adotarem novas tecnologias de produção. Além de incentivar a fabricação avançada em áreas, como vestuário e têxtil, produção de alimentos, aproveitando seus grandes mercados de consumo locais. No continente africano, a indústria automotiva está na frente das tecnologias trazidas pela Indústria 4.0, principalmente em automação. A África do Sul, como país mais industrializado, tem a maior concentração de robôs industriais neste setor (NewsAfrican, 2018).

A transformação de seus processos industriais para as novas tecnologias digitais deve oferecer oportunidades aos fabricantes africanos e pequenas e médias empresas a criarem novos modelos de negócios e se integrar às cadeias globais de valor. No entanto, a África é um continente muito desigual. Existem áreas, como nas regiões rurais, em que a agricultura ainda é amplamente manual, de subsistência, onde o acesso à Internet geralmente, se disponível, é instável e o acesso às Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) não é garantido. Em outras, como nos grandes centros urbanos, o avanço tecnológico é bastante perceptível e avançado. (Gugu, 2019).

O continente africano não pode ficar parado diante da corrida global por novas tecnologias. A região encontra-se com baixas taxas nos índices globais de competitividade, capital humano e inovação. Para superar esses desafios, estratégias devem pressupor a criação de “*clusters*” de competências, tecnologias e de inovação. E, principalmente, na necessidade de concentrar esforços para educação e treinamentos de jovens para o desenvolvimento da força de trabalho, com a formulação de Acordos de Reconhecimento Mútuo (ARM) para aumento das qualificações acadêmicas e profissionais da população (African Union Commission, 2019).

2.6.5 América do Sul

De acordo com o IEDI (2018), a adoção da Indústria 4.0 nos países latino-americanos ainda é muito baixa. Ela se apresenta na região de forma limitada, na indústria automotiva no México e no Brasil, na indústria florestal e extrativa mineral no Chile, na agroindústria na Argentina, e em outros países, em setores como energia elétrica, comércio varejista e serviços de logística. As tecnologias digitais na região, na verdade, estão mais relacionadas a aplicação da *Internet* para jogos, redes sociais e comércio eletrônico, do que para manufatura. Neste caso, o risco de defasagem tecnológica em que se encontra a América Latina, se não houver avanço em relação ao processo de digitalização nas indústrias, poderá aumentar ainda mais as diferenças entre a região e os países líderes em produção industrial. É fundamental, portanto, o aprofundamento do uso das tecnologias 4.0, com objetivo de promover a inovação e digitalização de toda cadeia produtiva para enfrentar esses desafios de produtividade e competitividade.

Em pesquisa realizada junto a executivos de toda América do Sul, de acordo com os resultados encontrados, a qualificação da força de trabalho terá um papel fundamental para a inovação em relação às novas tecnologias. Pois possibilitará às empresas criar novos papéis e lideranças com maior capacidade de lidar com as tecnologias disruptivas com objetivo transformar as operações industriais e garantir ganhos em segurança, flexibilidade nos processos e produtividade. (Accenture, 2018).

Para o Vermulm (2018), quanto a formulação da política Industrial quanto I4.0, é fundamental que os governos e as empresas decidam qual o melhor tipo de intervenção deve ser implantada. No caso, a decisão recai em duas formas: transferência de tecnologias de inovações já consolidadas ou a adoção rápida de novas tecnologias.

De acordo com Vermul (2018), para melhor compreensão e quais medidas devem ser tomadas, é importante categorizar das indústrias participantes da Indústria 4.0, em três classes:

- Pelo lado da oferta, empresas que possuem processos de automação industrial, principalmente as estrangeiras, e produtos com alto grau de inovação, porém com padrões ainda não fortemente estabelecidos..
- Pelo lado da demanda, empresas industriais locais se aproveitam das novas tecnologias para incrementar seus processos e sua cadeia de valor.
- Pelo lado da infraestrutura, empresas locais e estrangeiras de *hardware*, *software* e redes de comunicação que fornecem plataformas de integração de sistemas e comunicação.

É necessário a criação de um foro regional de discussão da Indústria 4.0 para troca de experiências, conhecimento e divulgação de tendências tecnológicas em relação aos desafios da indústria e

transformação tecnológica e digital do continental. Além disso, realizar o aprofundamento das tecnologias digitais e realização de pesquisas de sistemas ciberfísicos para buscar soluções nacionais e regionais em relação ao desenvolvimento tecnológico da América Latina (Velho & Barbalho, 2019).

2.6.6 Brasil

O baixo uso de tecnologia digital das empresas brasileiras revelado em pesquisa, cerca de 9%, realizada pela Confederação Nacional da Indústria realizada em 2016, demonstrou o quão o Brasil está atrasado em digitalização da sua economia. Países como EUA, Alemanha e China que buscam ser a principal referência tecnológica mundial, já estão investem altas somas de recursos para terem suas indústrias avançadas tecnologicamente. É preciso que o país mapeie novas oportunidades e busque a inserção tecnológica no mundo, com a construção de uma estratégia nacional para a indústria 4.0, respeitando as características multidimensionais do tema e articulando as políticas públicas e as ações do setor empresarial (Vermulm, 2018).

De acordo com Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) a previsão com diminuição de custos industriais no Brasil, com a adoção do conceito 4.0, será de aproximadamente R\$73 bilhões/ano (Ind4.0, 2020). Sendo uma grande oportunidade para as empresas se manterem competitivas e se integrarem no mercado mundial. Porém, em uma pesquisa realizada pela Fiesp, apresentou que 32% dos entrevistados não tinham conhecimento sobre indústria 4.0 ou manufatura avançada, mostrando que há um grande caminho a ser percorrido (Velho & Barbalho, 2019).

O Brasil iniciou tardiamente as discussões sobre a I4.0 em relação a alguns países mais industrializados, devido à crise econômica. No entanto, o setor industrial já vem fazendo a algum tempo essas transformações, com a utilização de robôs em suas linhas de produção, o emprego de IoT em seus processos e a conexão dos seus sistemas em redes. Apesar disso, o Brasil caiu de 5º lugar para 29º lugar em 2016 conforme o Índice Global de Competitividade da Manufatura, em pesquisa realizada pela ABDI. No entanto, a ABDI mostrou-se confiante, pois acredita que o país tem potencial para reverter essa situação. Entre as ações voltadas para melhorias nos índices de industrialização e inovação, foi a criação em 2017 de um grupo de trabalho para a Indústria 4.0 (GTI 4.00) pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), hoje Ministério da Economia. Esse grupo é formado por organizações do governo, de empresas e da sociedade que discutem os impactos da Indústria 4.0 para o país. Entre as discussões, destacam-se temas como: competitividade, fábricas inteligentes, tecnologias digitais, entre outros (Vermulm, 2018).

Em 2019, foi lançada a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, com objetivo de modernizar e melhorar as políticas governamentais e critérios para integração e adequação das iniciativas existentes. Este programa abrange os setores público, privado e acadêmico, como Ministério da Economia (MCTI) e representantes da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Indústria), CNI (Confederação Nacional da Indústria), Finep (Financiadora de Estudos e Projetos), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). O plano tem a validade de 2019-2022, e cada instituição é responsável pela elaboração do seu plano (Ind 40, 2020).

De acordo com Tecnicon (2020), a pandemia do Coronavírus afetou o setor industrial de forma muito drástica o Brasil e o mundo. Porém há sinais animadoras, como confiança por parte do empresariado brasileiro em relação ao futuro da indústria no país, de acordo a CNI e FGV, que teve um crescimento em 9,8 ponto em relação à pesquisas anterior. Para o site, a solução para empresas é a adoção de tecnologias para diminuir o impacto da Covid-19 em seus processo fabris. No país, estas são a principais iniciativas:

Bosch

A empresa como um dos pioneiros da Indústria 4.0 no Brasil, transformou drasticamente suas fábricas, conectando máquinas e sensores e fazendo a gestão dados e softwares mais inteligente. Além de criar soluções relacionadas a coleta e análise de dados por meio de sensores inteligentes por meio de um programa chamado Bosch Rexroth.

Natura

Para se manter competitiva, a empresa procurou se modernizar por meio aplicação dos conceitos de Indústria 4.0 em suas fábricas. Com o uso de sistemas de iluminação e ar condicionados inteligentes, realidade aumentada no setup das linhas de produção e a impressão 3D em suas embalagens.

Renault

Em 2020, a Renault se tornou referência em Indústria 4.0 e reconhecida pelo Fórum Econômico Mundial por inovações adotadas em seu complexo industrial no Brasil. Sendo uma referência em manufatura avançada e conectada. A Renault utiliza diversas tecnologias e processos digitais desde seus processos industriais até a venda de seus carros.

Heineken

Na Heineken, uso das novas tecnologias está ligada à transformação da cultura organizacional, por meio desenvolvimento humano. Além disso, o reposicionamento a marca da empresa foi realizado por meio da digitalização dos processos industriais com diversas iniciativas associadas às novas tecnologias e a inovação de suas linhas de produção com a implantação novos projetos de sustentabilidade.

2.7 Modelos de Maturidade

As novas tecnologias e a aquisição de conhecimento a partir do processamento de informações levarão inexoravelmente a novos tipos de trabalho e novas formas de trabalhar, alterando as estruturas empresariais e as formas como as empresas se relacionam. Os principais desafios incluem o entendimento dos conceitos de Indústria 4.0, não apenas de uma perspectiva tecnológica, mas também, a implementação sistemática de ações, capazes de tornar as empresas flexíveis e ágeis em um ambiente em mudança para a transformação de sua cultura organizacional. Mas as empresas estão prontas para transformação? Qual é o grau de maturidade delas? Essas perguntas podem ser respondidas em relação aor desenvolvimento de meios para avaliar a maturidade das organizações quanto às novas tecnologias (Schuh et al, 2020).

Quando o *Software Engineering Institute* lançou o *Capability Maturity Model* (CMM) (Figura 06) há quase vinte anos, uma grande quantidade de modelos de maturidade foi apresentado por pesquisadores e profissionais de várias áreas desde então. Com o desenvolvimento de diversos modelos, a maioria tinha como objetivo apoiar as organizações, como modelo governo digital, o de gerenciamento de TI e o Modelo de Gerenciamento de Processos de Negócios (BPM). Hoje, embora a aplicação de modelos de maturidade esteja aumentando em quantidade e extensão, modelos de maturidade ainda estão sujeitos a críticas. Principalmente, a falta de um entendimento holístico dos princípios de forma e função que eles devem atender (Pöppelbuß & Röglinger, 2011).



Figura 06 - Modelo CMM
(Duarte, 2017)

Modelos de maturidade são desenhados para proporcionar aplicações a uma organização para desenvolver suas capacidades a longo prazo em uma sequência de níveis (ou estágios) que juntos prevêem passos esperados ou realistas, a partir de um estado inicial para obter a maturidade esperada. Representam teorias compostas por elementos que estabelecem os estágios de desenvolvimento em uma área de interesse, baseadas em pessoas, organizações, áreas funcionais e processos, gerada de ações coordenadas (Pöppelbuß & Röglinger, 2011).

Com o surgimento da nova revolução industrial, novos modelos de maturidade foram propostos com finalidade de mensurar organizações em relação a 4.0. No entanto, um dos principais dilemas ao desenvolvimento de um modelo de maturidade para as empresas, é definir as dimensões organizacionais conforme a infraestrutura, as instalações e tecnologias Indústria 4.0, e a integração e gerenciamento de dados organizacionais. Outro fator, se diz respeito a busca dos objetivos comuns dos modelos como parâmetros para avaliação e definição dos processos a serem avaliados (Basseto, 2019). Neste capítulo serão apresentados diversos modelos de avaliação de maturidade na Indústria 4.0 encontrados na revisão de literatura.

2.7.1 Modelo MOM

O modelo MESA MOM/CMM (*Manufacturing Operations Management/Capability Maturity Model*), criado pela MESA (*Manufacturing Enterprise Systems Association*), é uma ferramenta baseada em questionários, como objetivo de avaliar o grau de maturidade e prontidão das organizações nas operações industriais a partir de uma perspectiva gerencial. O modelo auxilia as empresas de manufaturas na determinação de áreas onde poderiam atuar com mais eficiência e produtividade (Kulvatunyou, 2019).

O modelo MESA MOM/CMM consiste de níveis estruturados que descrevem as condutas, padrões e procedimentos para fabricar produtos de forma confiável e sustentável, dentro do prazo, com mais qualidade, utilizando equipamentos de forma mais adequados. A mensuração é feita por níveis de maturidade que avaliam, quanto mais a organização é eficiente, menos falhas, menos problemas operacionais (Kulvatunyou, 2019). A avaliação das atividades é feita de acordo com seu nível de maturidade (0 a 5) de cada atividade, de forma independente, sem um critério de ordem ou conforme a necessidade do avaliador (De Carolis et al, 2017).

O Modelo é baseado no nível 3 dos processos ANSI/ISA-95: Parte 1 do MOM, que avalia quatro áreas operacionais: gerenciamento de operações de produção, gerenciamento de operações de qualidade, gerenciamento de operações de inventário e gerenciamento de operações de manutenção. Dentro dessas áreas, existe um conjunto de atividades para cada operação: agendamento detalhado, despacho, gerenciamento de execução, gerenciamento de recursos, gerenciamento de definição, coleta de dados e rastreamento e análise de desempenho (Kulvatunyou, 2019).

A ferramenta oferece dois métodos de avaliação: o rápido e o abrangente. A “avaliação rápida” proporciona a obtenção do grau de maturidade antecipado, enquanto aguarda o término da avaliação. É útil para verificar os prazos de todas as atividades, identificando as áreas com dificuldades antes da avaliação abrangente. A "avaliação abrangente" é o modo completo, onde todas as perguntas são respondidas, com resultados detalhados disponíveis no término do processo de avaliação (Kulvatunyou, 2019). Para Carolis et al (2017), pode ser aplicado em “vários aspectos: funções e responsabilidades, planos e *backups* de sucessão, políticas e procedimentos, tecnologia e ferramentas, treinamento, integração de informações e KPIs”.

2.7.2 Modelo “DREAMY

O objetivo do modelo DREAMY (*Digital Readiness Assessment Maturity Model*) é avaliar o nível de prontidão e identificar os pontos fortes das indústrias quanto ao seu processo de transformação digital. O modelo foi desenvolvido por De Carolis et al (2017) e baseia-se no modelo de maturidade CMMI (*Capability Maturity Model Integration*), desenvolvido pelo SEI (*Software Engineering Institute*) (Basseto, 2019).

O modelo foi agrupado em cinco áreas principais: *Design* e Engenharia; Gerenciamento de Produção; Qualidade Gestão; Gerenciamento de Manutenção e Gerenciamento de Logística. As áreas são consideradas autônomas, podendo ser adicionadas ou removidas um ou mais módulos caso não seja

mais relevante em determinado setor ou situação. As trocas de informações entre as áreas envolvidas é realizado por um *Backbone Digital* (De Carolis et al , 2017).

A elaboração do método avaliação se baseou no modelo CMMI que oferece cinco níveis de maturidade (inicial, gerenciado, definido, qualitativamente gerenciado e otimização) na qual a empresa não deve ser somente avaliada em rdção às tecnologias usadas, mas também, pela capacidade de lidar com os seus processos. No DREAMY, optou-se por avaliação da prontidão digital das empresas por quatro fatores: Processo, Monitoramento e Controle, Tecnologia e Organização (Basseto, 2019)

A avaliação do grau de maturidade do modelo busca entender a situação atual da empresa os pontos fortes e fracos como ponto de partida no processo de adoção da Indústria 4.0. No momento, a “fábrica” é a unidade de estudo. No futuro, poderão ser adicionadas outras áreas de processo de valor agregado, como *Supply Chain*, Vendas, *Marketing*, Atendimento ao Cliente, Gestão de Recursos Humanos, etc, com intuito de ampliar o escopo da análise (De Carolis et al , 2017).

2.7.3 Modelo “*Industrie 4.0 Maturity Index*”

O modelo foi elaborado pela Academia Alemã de Ciência e Engenharia (Acatech), uma instituição fundada pelo governo alemão, com objetivo de desenvolver uma metodologia para medir o estágio de maturidade em que se encontra uma empresa de manufatura em relação à Indústria 4.0. O Índice identifica as áreas necessárias e fornece orientações práticas para desenvolvimento de uma estratégia de implantação personalizada dos conceitos de Indústria 4.0. A avaliação é feita sob uma ótica tecnológica, organizacional e cultural, com foco em processos negociais (Shuh et al, 2020).

O modelo Acatech é dividido em 4 áreas principais: Recursos, Sistema de Informações, Estrutura organizacional e Cultura, e aplicadas conforme o seu quadro gerenciamento e produção de acordo com sua áreas funcionai, conforme apresentado na Figura 7.

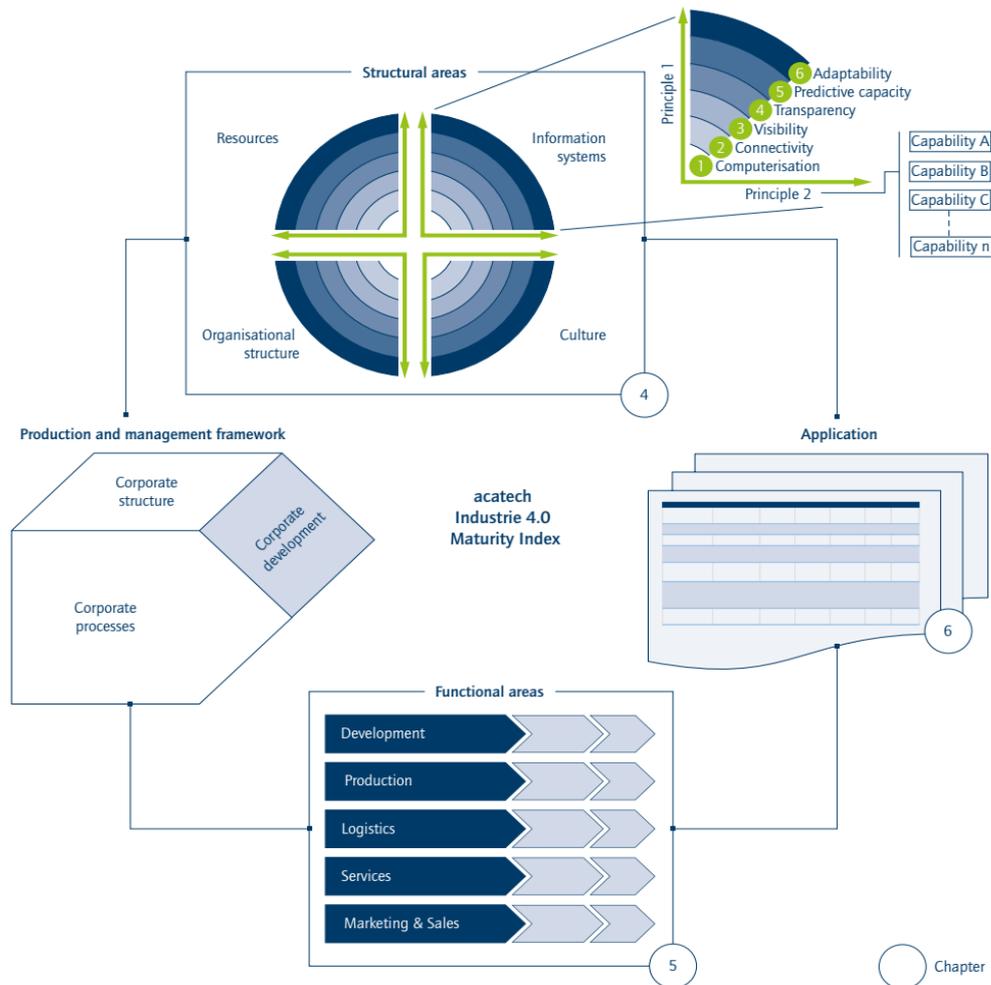


Figura 7. Model design of the acatech Industrie 4.0 Maturity Index

(Shut et al, 2020)

Juntas, essas áreas estruturais fazem a estrutura da organização e estão conectados por seis níveis ou graus de maturidade, conforme a Figura 8, que possibilitam às empresas percorrer todas as fases de desenvolvimento, desde os requisitos básicos da Indústria 4.0 até a implementação completa. Cada estágio baseia-se no anterior e descrevem os recursos necessários para atingi-lo e os seus benefícios resultantes. O modelo prevê que o estágio inicial deve ser alcançado com um nível de capacidade menor do que o estágio posterior e assim sucessivamente (Shut et al, 2020).

O processo de transformação exige que as etapas sejam executadas de forma incremental, não necessariamente uma sincronização perfeita entre negócios, em fábricas, linhas ou células, cabendo a cada empresa decidir qual estágio de desenvolvimento possui melhor equilíbrio entre custos e benefícios em relação aos objetivos planejados (Shuh et al, 2020).

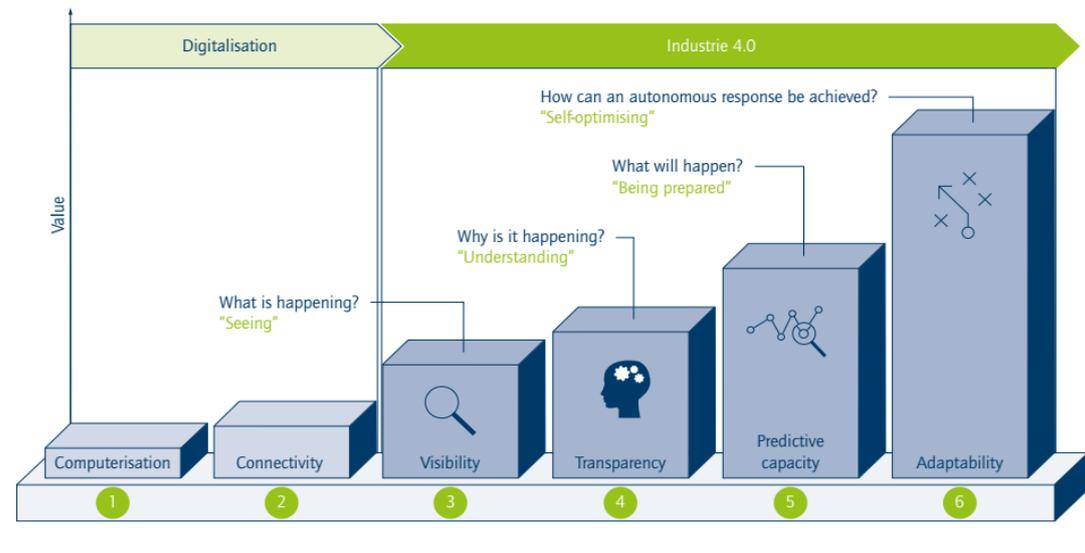


Figura 8. Stages in the Industrie 4.0 development path
(Acatech, 2017)

No Índice de Maturidade Acatech Industrie 4.0, os recursos descritos na metodologia são investigados separadamente para cada uma das áreas funcionais de uma empresa e o estágio de maturidade específico de cada capacidade, podendo ser diferente para cada área funcional. O resultado é a formulação de um roteiro digital para todas as áreas relevantes, com uma abordagem passo a passo para alcançar os benefícios que reduzam os riscos de investimento e de implementação do processo de transformação para Indústria 4.0, e ajudar as empresas a entender a importância de desenvolver uma estratégia digital comum (Shuh et al, 2020).

Para Schuh et al (2020), o modelo possui duas capacidades fundamentais: acelerar os processos de tomada de decisão e adaptação das empresas às novas tecnologias. Esses processos podem surgir de determinados eventos, podendo ser a curto prazo, como em uma parada de uma da linha de produção, ou de médio a longo prazo, na alteração nos requisitos do produto ou em alterações associadas a desenho e fabricação deste produto.

2.7.4 Modelo “Indústria 4.0-MM”

O modelo proposto por Gökalp et al. (2017) baseia-se nas dimensões SPICE (*Software Process Improvement and Capability Determination*) e “Aspects”, para avaliar quais recursos uma empresa de manufatura precisa obter para sua entrada em relação à Indústria 4.0 .

A elaboração da estrutura do modelo utilizou a dimensão “Aspects” com objetivo de verificação de capacidade e divulgação dos resultados. Essa dimensão estabelece a integração das dimensões

(infraestrutura, sistemas de informação, dados e organização) e das práticas da Indústria 4.0 a partir de 5 áreas:

- O Gerenciamento de ativos abrange os sistemas de TI, a prontidão tecnológica para a indústria 4.0 e o uso de tecnologias, como *Cloud Computing*. Mede o nível de suporte, avaliando o quanto a empresa pode oferecer em Segurança de TI, Internet das Coisas (IoT) e Redes sem fio industriais.
- A Governança de dados nível apura o uso de coleta de dados, análise dos dados, ferramentas e serviços orientados por dados. A análise e a coleta de dados incluem, entre outros, a infraestrutura e sistemas de produção.
- O Gerenciamento de aplicativos permite um projeto e a construção de sistemas de informação otimizados que possibilitem o melhor gerenciamento de negócios para empresas e seus usuários.
- O Alinhamento Organizacional se refere aos aspectos gerenciais das estruturas organizacionais e negociais da empresa.
- A Transformação de processos se refere à mudança de todos os processos básicos da organização: planejamento, aquisição, produção e venda e distribuição.

A dimensão “Capacidade” é baseada na dimensão SPICE (*Software Process Improvement and Capability Determination*) onde cada atributo e estágio depende da fase anterior. Envolve a formulação desde os

requisitos básicos até implementação completa das tecnologias de Indústria 4.0 a partir de seis níveis:

Nível 0 - Incompleto: são aspectos iniciais do processo, onde as práticas básicas ainda não foram alcançadas totalmente ou ainda não há implementação. A organização se concentra apenas nas operações fundamentais, como produção e vendas.

Nível 1 - Executado: A visão da Indústria 4.0 está formulada e já existe um roteiro para a estratégia de transição, mas ela não está totalmente implementada. A empresa começa a empregar tecnologias inteligentes, como a IoT, em seu processo de transição..

Nível 2 - gerenciado: as operações são definidas e o conjunto de dados relacionados para cada operação começa a ser coletado, mas as operações não estão integradas. A infraestrutura começa a ser representada em um mundo virtual.

Nível 3 - estabelecido: os processos principais da empresa e o valor agregado de cada operações estão bem definidas e consistentes com a padronização correspondente. Os dados operacionais estão bem identificados, coletados e armazenados sistematicamente em um banco de dados. É o aspecto vertical do processo.

Nível 4 - previsível: se refere a integração horizontal e controle das operações, incluindo a integração de redes de produção em nível negocial. As funcionalidades da empresa são integradas para aumentar a eficiência das operações. Os dados são usados para controlar o processo e as operações em tempo real.

Nível 5 - otimizado: A organização começa a aprender com os dados coletados e são usados para a melhoria contínua. A integração da engenharia/produtos é alcançada, permitindo o compartilhamento e a sincronização de conhecimento, com o desenvolvimento de produtos e serviços e o ambiente fabril.

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

O *Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)*, elaborado por Weber et al (2018), visa auxiliar as empresas a avaliar a maturidade de sua arquitetura de TI em relação à fabricação orientada de dados à Indústria 4.0, através da integração vertical entre soluções de TI na manufatura e engenharia de automação; e da integração horizontal dos sistemas de TI junto a cadeia valor da organização.

O modelo é baseado em arquiteturas para IIoT (IIRA, RAMI e SITAM), possuindo seis recursos na qual são utilizados para avaliar a implantação da Indústria 4.0 na organização:

- “Armazenamento e computação de dados” - se refere à coleta e análise dos dados para o armazenamento de dados no chão de fábrica e o processamento dessas informações em tempo real.
- “Arquitetura Orientada a Serviços” - define interfaces de serviço entre as camadas arquitetônicas e se baseia em serviços básicos para desenvolver serviços mais ampliados e de valor agregado, usados, por exemplo, para análises avançadas.
- “Integração de informações” - tem como objetivo adquirir inteligência de alto nível sobre o sistema geral para obter funcionalidades de valor agregado para análises ou acesso de dados entre os vários domínios. Ex. dados de pós-vendas.
- “*Digital Twin*” - é a representação digital de todos os estados e funções de uma máquina ou de equipamento de manufatura em relação ao autocontrole e autonomia desses ativos.
- “Análise avançada”- visa a recuperação dos dados que são utilizados para extração de informações importantes. Possibilita a análise avançada de pontos específicos de fabricação, como a mineração e a extração de dados em todo o ciclo de vida do produto.
- “Recursos em tempo real” - envolvem a comunicação em tempo real dos sistemas de produção para análise em tempo real, para que a empresa possa reagir em determinadas situações limites.

Para avaliar o grau em que se encontra a empresa, os autores elencaram seis níveis que são baseados nas arquiteturas da IIOT e nos recursos estudados anteriormente.

Nível 0 - Integração de TI inexistente . Os dados das operações fabris e das máquinas e equipamentos para manufatura não são integrados à TI. As informações são coletadas manualmente, sem a armazenagem de dados em sistemas de informações.

Nível 1 - “Integração de dados e sistemas”. As máquinas são integradas e gerenciadas por um *Manufacturing Execution System* (MES). Os dados relevantes à produção são integrados aos aplicativos corporativos e analisados por meio de planilhas.

Nível 2 - “Integração e cruzamento de dados”. Informações relevantes de produção são integradas por meio de outras como logística e vendas. Nesta fase, as organizações utilizam planilhas manuais para exportação dos sistemas de origem e dos dados agregados.

Nível 3 - “Orientação a Serviços”. Os dados são fornecidos por meio de um sistema orientado para serviços (SOA). A comunicação ineficiente é eliminada com a integração de dados corporativos e o chão de fábrica a partir de um serviço corporativo de informações.

Nível 4 - “*Twin Digital*”. Esse estágio representa um caminho para um autocontrole descentralizado de ativos no chão de fábrica. A comunicação é feita pela cooperação de ativos na fábrica orientada a dados a partir de um modelo de dados uniforme. Os *Twin Digital* de cada ativo são integrados por uma plataforma central para monitorar ativos descentralizados e autônomos.

Nível 5 - “Fábrica auto-otimizadora”. Nesse nível, a análise avançada se torna fundamental na extração e análise dos dados. Tecnologias como sensores, *Big Data* e sistema em nuvem permitem a análise em tempo real dos sistemas produtivos. A borda digital - coleta e análise de dados por meio de sensores (ou outros dispositivos) na origem - é integrada a uma plataforma *Twin digital*.

2.7.6 Modelo “*The IoT Technological Maturity Assessment Scorecard*”

O modelo proposto por Jæger e Halse (2017), tem como objetivo abordar a evolução do uso das tecnologias de IoT em relação ao grau de maturidade de empresas de manufatura em uma escala de oito níveis.

Level 1: 3.0 Maturity (vertical, internal) - Neste nível, a empresa alcançou o grau de maturidade da Terceira Revolução Industrial. Utiliza tecnologias de rastreabilidade de produtos em sua produção e ou depósito de forma limitada. Além disso, já implementou um sistema de ERP para gerenciar seus dados em atividades, como planejamento, manufatura e vendas. A organização tem pelo menos um robô em seu processo inicial de automatização.

Level 2: Initial to 4.0 Maturity (one 4.0-enabled-object, +external) - A organização tem pelo menos um dispositivo 4.0. A comunicação entre robôs, equipamentos de produção e sistemas de IT é vertical. Os ativos de produção e ou produtos podem ser remotamente acessados, gerenciados e programados a partir de um notebook, celular ou outros dispositivos conectados à Internet.

Level 3: Connected (+several 4.0-enabled-objects) - A empresa tem entre 2 a 9 dispositivos 4.0, com comunicação vertical por sistemas de controles internos e externos acessados indiretamente. Sendo o *Cloud Computing*, um desses sistemas de comunicação vertical. A produção e ou depósito já está automatizada.

Level 4: Enhanced (+horizontally) - As máquinas e equipamentos e ou produtos se comunicam horizontalmente em um ambiente fechado e internamente. Robôs ou transportadores podem pelo menos fazer uma operação automática em algum ponto na entrada ou saída do armazém.

Level 5: Innovating - Nesse nível, esses dispositivos encontram-se mais desenvolvidos e possibilitam que executem um alto número de operações, substituindo os trabalhos manuais nas atividades de produção e armazenagem e possuem habilidade de comunicação horizontal e vertical.

Level 6: Integrated - este nível, a organização possui habilidade para reunir as informações e gerenciar seu próprio ciclo de vida, serviços, auto reparo e recursos. Incluindo a habilidade de aprender novas experiências para melhoria de processos. O gerenciamento de dados neste estágio é crucial para troca de informações, pois possibilita criar muito mais valor em uma cadeia de valor.

Level 7: Extensive - A organização agora aumentou a sua área de atuação, saindo de seu alcance interno para abraçar uma rede externa. A produção e o depósito estão altamente automatizados, com robôs e máquinas atuando em alta performance de produção e as operações de armazenagem deixando de serem manuais. O gerenciamento de dados caminha em direção a *Big Data* e a *Data Analysis*.

Level 8: 4.0 Maturity - Nesta fase, a empresa alcançou o grau de maturidade 4.0. Utiliza os conceitos de IoT de forma otimizada em que os dispositivos estão conectados à internet com perfeição. A comunicação entre os dispositivos é feita em arquitetura comum, interoperável e aberta, sem a intervenção humana. A produção e armazenagem trabalham otimizadas e automaticamente, sem o uso da interação humana. A organização atua com melhoria contínua e preditiva em seus processos com uma Inteligência de Negócios. O *Big Data* é utilizado para o gerenciamento da organização, permitindo novos processos e modelos de negócios para *Smart Factory*.

2.7.7 Modelo “SIMMI 4.0”

O modelo elaborado por Leyh et al (2016), tem como objetivo fornecer às empresas um conjunto de ferramentas para classificar e avaliar seus sistemas de TI em relação aos requisitos da indústria 4.0. Consiste em um conjunto de cinco estágios de maturidade que descreve o nível correspondente de maturidade 4.0 em cada área da organização, a partir de quatro dimensões que representam diferentes níveis de interesses da empresa, a seguir.

- Integração vertical - Essa dimensão se concentra nos componentes do nível mais baixo de uma empresa, onde diferentes ativos [semi-produtos, máquinas etc.] precisam trocar informações no mesmo nível e acima dele.
- Integração horizontal - Um fluxo de informações automatizado e integrado no nível horizontal da empresa possibilita que os vários sistemas corporativos de diferentes parceiros da cadeia de suprimentos interajam com o sistema de dados da empresa.
- Desenvolvimento de produtos digitais - cada etapa do processo tem que ser representada digitalmente. Para esse fim, pelo menos um sistema corporativo deve ser integrado a cada etapa do processo.
- Transversal dos critérios de tecnologia - esta dimensão se concentra em avaliar até que ponto as tecnologias são usadas em diferentes aspectos da Indústria 4.0, tais como arquitetura orientada a serviços, computação em nuvem, big data e segurança de TI.

A Tabela 2 fornece uma visão geral do SIMMI 4.0 com suas dimensões e suas etapas de maturidade.

Tabela 2 – Modelo SIMMI 4.0 - adaptado de Leyh et al (2016)

Dimensão Integração vertical		Dimensão Produto digital Desenvolvimento	Critério de Dimensão de Tecnologia transversal
Etapa 5 - Digitalização completa otimizada: a empresa é uma vitrine para as atividades do setor 4.0. Ele colabora fortemente com seus parceiros de negócios e, portanto, otimiza suas redes de valor.			
Integração cruzada corporativa contínua é constantemente otimizado.	Integração cruzada corporativa contínua e colaborativa em redes de valor.	Desenvolvimento de produto é processado digitalmente dentro e fora da empresa	Simulação e otimização de valor e fluxo de informações em tempo real na rede de valor. segurança de TI ajusta-se prontamente a novos riscos. Problemas de segurança são resolvidos imediatamente. A criptografia é otimizada nas redes de valor
Etapa 4 - Digitalização completa: a empresa é completamente digitalizada mesmo além das fronteiras corporativas e integrada às redes de valor. As abordagens da indústria 4.0 são ativamente seguidas e ancoradas na estratégia corporativa.			
Etapa 3 - Digitalização horizontal e vertical: a empresa é digitalizada horizontal e verticalmente. Os conceitos de indústria 4.0 estão implementados e os fluxos de informações foram automatizados.			

Etapa 2 - Digitalização interdepartamental: A empresa está ativamente envolvida nos tópicos do setor 4.0. A Digitalização é implementada entre departamentos; Os primeiros requisitos da Indústria 4.0 são implementados na empresa.

Estágio 1 - Nível básico de digitalização: a empresa não abordou o setor 4.0. Os requisitos não são ou são apenas parcialmente atendidos.

Integração de sistemas corporativos único departamento específico. A empresa sistemas ao longo do valor da empresa suporte apenas da cadeia seus respectivos campos de atividade.	Integração de enter apenas sistemas de prêmios específicos do departamento. A empresa sistemas ao longo do valor da empresa suporte apenas da cadeia de seus respectivos campos de atividade.	Produtos onde desenvolvimento não digitalmente suportado.	Nenhum serviço orientado ou baseado em nuvem abordagens. Dados e informações de fluxos não são utilizados para melhoria / otimização do produto. Confidencialidade, disponibilidade e integridade dos dados não são garantidos
---	---	---	--

2.7.8 Modelo “Industry 4.0 Maturity Model”

O modelo proposto por Schumacher et al (2016), tem como objetivo desenvolver um modelo de maturidade e uma ferramenta para avaliação do grau de maturidade da Indústria 4.0 em empresas de manufatura. O modelo possibilita a coleta de dados sobre o desenvolvimento das empresas de manufatura em diferentes áreas e a aplicação de diferentes estratégias para adoção da I 4.0.

O modelo é composto de sessenta e dois itens de maturidade, agrupados em nove dimensões da empresa. A Tabela 3 fornece uma visão geral das dimensões e exemplos.

Tabela 3 – Modelo ‘Industry 4.0 Maturity Model’ - adaptado de Schumacher et al (2016)

Dimensão	Exemplo de maturidade
Estratégia	Roteiro de implementação de Estratégia, Recursos disponíveis, adaptação de modelos de negócios
Liderança	disposição dos líderes, competências gerenciais e métodos. Coordenação central I40.
Clientes	Utilização de dados de clientes, digitalização de vendas /serviços, competência em mídia digital do cliente
Produtos	Utilização dos dados do cliente, Digitalização de vendas / serviços, competência em mídia digital do cliente
Operação	Individualização de produtos, Digitalização de produtos, integração de produtos com outros sistemas,...
Cultura	Compartilhamento de conhecimento, inovação aberta e colaboração da empresa, valor de TIC na empresa
Pessoas	competência de TIC dos funcionários, abertura
Governança	Regulamentos trabalhistas para I40, Adequação de padrões tecnológicos, proteção de direitos propriedade,
Tecnologia	Existência tecnológica das TIC modernas, utilização de dispositivos móveis dispositivos, utilização de máquina para máquina comunicação,

2.7.9 Modelo “The Digital Maturity Model 4.0”

O modelo de maturidade “*The Digital Maturity Model 4.0*” proposto por Gill e VanBoskirk (2016), foi criado para auxiliar as empresas a avaliarem sua prontidão, os principais recursos, as ações e suas habilidades quanto à maturidade de uma operação digital em relação ao processo de implementação da Indústria 4.0. em uma organização. O modelo propõe critérios de avaliação, um modelo global simplificado e uma ferramenta para a empresa aplicar em seu próprio negócios a partir de 4 dimensões:

- a) Cultural - a abordagem deve ser dirigida à inovação e possibilitar aos colaboradores acesso às tecnologias.
- b) Tecnologia - a organização deve adotar o uso de tecnologia emergentes.
- c) Organização - o apoio a estratégia digital, a governança e execução das atividades.
- d) Insights - a utilização das informações do cliente e dos negócios para medir o sucesso e suas estratégias em relação a transformação digital.

A organização e suas características, em relação a sua maturidade digital, são avaliadas em quatro níveis: Nível um: Céticos. São empresas lentas em termos de tecnologia e que têm experiência limitada em inovar ou aplicar uma abordagem externa ao planejamento estratégico.

Nível dois: Adotantes. Tem mais prática digital do que os céticos, e estão dispostos a investir na arquitetura básica que precisam para expandir sua ambição digital - como um sistema de CRM ou plataforma de comércio eletrônico.

Nível três: Colaboradores. Neste nível, o mais importante não é o tamanho do setor ou da empresa, mas quais as empresas estão mais aptas para permitir a colaboração interna e externamente para prática e inovação da transformação digital.

Nível quatro: Diferenciadores. Neste nível, a empresa já está consistentemente mais avançada nas áreas de marketing e eBusiness, incluindo gerenciamento de projetos, clientes, insights e marketing direto. Além disso, a organização já consegue separar o mundo virtual do mundo físico.

2.7.10 Modelo “Manufacturing Value Modeling Methodology”

O *Manufacturing Value Modeling Methodology* - MVMM, proposto por Tonelli et al (2019), é uma abordagem estruturada com objetivo de destacar os pontos fortes e fracos, os objetivos e perspectivas de uma organização, tanto em nível estratégico quanto em nível operacional, para criar uma estrutura objetiva de ações, a qual a empresa deve implantar para desenvolver seus negócios e alcançar seus objetivos estratégicos. O modelo consiste em 5 etapas que devem guiar a empresa a controlar e medir a evolução das soluções apresentadas em relação à elaboração de um modelo de valor.

A primeira etapa é a criação do Mapa de Valor, onde o objetivo é criar conhecimento sobre a empresa, através da análise de tendências, implicações e condições operacionais em sua área de atuação. Para o mapeamento, a empresa deve alinhar iniciativas e obstáculos encontrados para compreender quais são os direcionadores de mercado e quais cadeias de negócios impactam os seus objetivos estratégicos.

A segunda etapa é o Modelo de Maturidade, em que se mede o estado atual da empresa, evidenciando seus pontos fortes e fracos a partir da construção do Mapa de Valor e dos requisitos estratégicos de negócios. Esse modelo se baseia no "Modelo de Maturidade do Gartner" para medir o estado atual da empresa em relação às suas operações em de 5 níveis de maturidade crescentes:

- Estágio 1: as empresas se concentram nas atividades operacionais e no planejamento distribuição;
- Estágio 2: as empresas antecipam o fornecimento o planejamento de materiais para cobertura de pedidos existentes conforme a previsão da demanda;
- Estágio 3: as empresas buscam a integração total em seus planos de produção e processos para criar uma resposta orientada a produtos e de serviços;
- Estágio 4: as empresas que alcançam este nível, atingem a excelência funcional no planejamento e fornecimento de produtos;
- Estágio 5: as empresas planejam a demanda e o reabastecimento de suprimento em conjunto com o suporte da cadeia de valor.

A terceira etapa é a de "Análise de lacunas e Processos", que tem como objetivo identificar quais atividades ou processos que as empresas devem intervir e avaliar as suas habilidades táticas e de negócios para comparar com os requisitos necessários da indústria 4.0.

A quarta etapa chamada de "Validação" é fundamental para a análise do processo, pois é nela que todas as informações coletadas são ajustadas e as soluções são adotadas conforme o que foi determinado pela análise de lacunas.

A última etapa do modelo é a Definição de melhoria das Áreas, onde a partir do conteúdo validado, a empresa identifica as áreas da valor, as oportunidades e seu valor total e elabora um roteiro de intervenções com objetivo de alinhar as estratégias da empresa em relação às situações encontradas na aplicação do modelo.

2.7.11 Modelo "IMPULS - Industrie 4.0- Readiness"

O modelo proposto por Lichtblau et al (2015) tem como objetivo medir o grau de prontidão e de capacidade da empresa na adoção da Indústria 4.0. Essa ferramenta tem o propósito de realizar a auto-

avaliação e a comparação da empresa em seis dimensões e os dezoito campos de interesses associados às dimensões conforme a Figura 9.

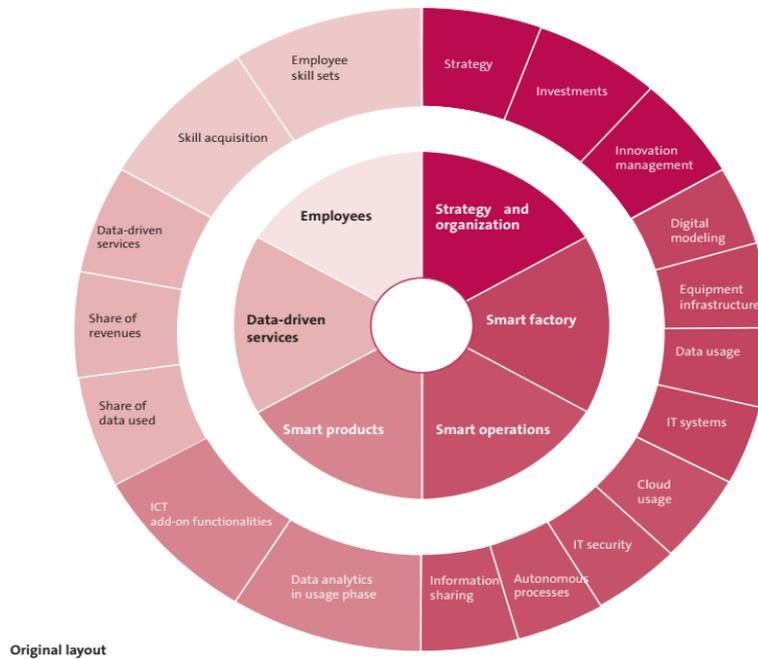


Figura 9 – *IMPULS model*
(Lichtblau et al, 2015)

Para os autores, as dimensões são as chaves fundamentais na avaliação das empresas no processo de transformação digital. Abaixo segue um resumo de suas características.

- Estratégia e Organização – desenvolvimento de novos negócios por meio da implementação da Indústria 4.0, operacionalização e revisão de sistema de indicadores, investimentos em processo relacionados a Indústria 4.0, uso de tecnologia e gerenciamento de inovação;
- Fabricação Inteligente – a interconexão de sistemas de produção que se comunicam diretamente com sistemas de TI (MES, ERP, SCM);
- Operações inteligentes – integração dos todos componentes da indústria 4.0 como parte fundamental da integração vertical e horizontal da cadeia de valor;
- Produtos inteligentes – a utilização em seus produtos de *softwares* embarcados e análise de informações do produto enquanto sua utilização;
- Serviços derivados de dados coletados – disponibilidades dos dados, receitas derivadas de serviços baseados em dados e dados utilizados na fase de uso produtos;
- Empregados – desenvolvimento da força de trabalho por meio da aquisição de novas habilidades e novas capacidades.

As dimensões do modelo possuem seus próprios requisitos. No entanto, os seis níveis apresentados abaixo caracterizam de forma abrangente o grau de maturidade atribuído à empresa como um todo.

1. Iniciante - uma empresa nesse estágio já realiza iniciativas pilotos da Indústria 4.0 em alguns departamentos e os investimentos são restritos a uma única área. Poucos processos de produção são apoiados por sistemas de TI. A infraestrutura de máquinas e equipamentos atual responde limitadamente aos atributos futuros de integração e comunicação.
2. Intermediário - neste nível, a empresa já incorpora a Indústria 4.0 em seu plano estratégico e desenvolve meios para implementar e medir seu grau de implantação. Investimentos relevantes em indústria 4.0 estão sendo feitos em determinadas áreas.
3. Experiente - nesse nível, a empresa já possui um plano estratégico para implementar a Indústria 4.0. Investimentos relacionados ao Indústria 4.0 são efetuados em algumas áreas e a sua difusão é feita por meio do gerenciamento de inovação orientado a departamentos.
4. Especialista - A estratégia da Indústria 4.0 está sendo implementada por um especialista e a acompanha a partir de indicadores adequados. Investimentos estão sendo feitos em quase todas áreas relevantes. O processo é conduzido pelo gerenciamento de inovação interdepartamental.
5. Alta performance - nesse último estágio, a organização já empreendeu a Indústria 4.0 em todas áreas e a monitora constantemente de outros projetos, ao mesmo tempo que implanta um abrangente gerenciamento de inovação empresarial. O sistema de TI apoia a manufatura através da coleta automática de todos os dados essenciais.

O método classifica as empresas em 3 tipos, de acordo com o grau de maturidade obtido na aplicação do modelo.

“*Newcomers*” - as empresas que ainda estão em caminho de transformação.

“*Learners*” - empresas que encontram nos passos iniciais do processo de transformação, mas ainda estão aprendendo a implementar as técnicas e conceitos da Indústria 4.0.

“*Leaders*” empresa que já alcançaram resultados satisfatórios e são exemplos de implementação dos conceitos da Indústria 4.0.

2.7.12 Modelo “Toolbox Workforce Management 4.0”

O modelo Toolbox Workforce Management 4.0 (WM4.0) elaborado por Galaske et al (2018), tem o objetivo de avaliar a prontidão para I4.0 das indústrias em relação às competências e as condições de trabalho. O método foi desenvolvido a partir de dois modelos: *Guideline Industrie 4.0* e *Generic Procedure Model for Industrie 4.0*. Sendo dividido em quatro categorias: *Hard skill*, *Soft Skill*, *Usability* e *Operability*. Cada categoria possui três campos e para cada aplicação, uma escala de 5 níveis, onde o mais alto nível representa o conhecimento da Indústria 4.0. Abaixo segue um resumo dessas categorias.

- *Hard skills*, representam o conhecimento adquirido por meio da educação formal e ou da experiência de trabalho. A avaliação é realizada em três campos de aplicação: Conhecimento em TI, Conhecimento de processos do negócio e Conhecimento em diferentes processos de manufatura.
- *Soft skills*, representam as competências e as qualificações do trabalhador relacionadas às características pessoais. Os campos de aplicação para avaliação são: “Competência pessoal” relacionada a iniciativa, a motivação pessoal e habilidade de motivar pessoas; “Competência social”, relacionada com a habilidade de comunicação, no aspecto da interdisciplinaridade para a transferência do conhecimento e “Competência metódica” relacionada a capacidade de executar diversas técnicas e métodos conhecimentos em TI e *media* e habilidade para análise de contextos e estruturas de rede.
- *Usability & Operability*, representa a capacidade de usabilidade e operacionalidade de um sistema por parte do trabalhador. A avaliação desse aspecto é feito a partir do aplicabilidade dos seguintes campos: “Sistemas de assistência”, caracterizada pela interação e adaptabilidade e fornecimento de informações ao trabalhador baseados em suas qualificações e sua situação atual; Interação homem-máquina, com habilidade do uso de *gadgets*, sistemas em rede e interação com realidade aumentada e realidade virtual; e “Suporte de decisão”, a partir da transferência de decisões dos seres humanos para os sistemas inteligentes.
- *Work environment*, essa categoria tem como pressupostos as situações gerais e condicionantes como para garantir segurança e satisfação do trabalhador em relação ao seu trabalho. As aplicações desta categoria se referem aos seguintes campos: “Segurança & Privacidade”, o objetivo é o treinamento regular do seus trabalhadores e atualização contínua dos seus sistemas de segurança; “Flexibilidade”, relacionada a flexibilidade automática de processos e de competências baseadas na alocação dinâmica do trabalhador; “Automação do grau de documentação” é relacionada a automação total de processos de trabalhos sem a necessidade documentação e certificação.

O modelo *Toolbox Workforce Management 4.0* identifica as competências e as condições necessárias para o desenvolvimento das empresas de manufatura em relação ao seu avanço digital. Além disso, fornece um perfil de acordo com o estágio encontrado, permitindo a avaliação de diferentes funções de trabalho em diferentes áreas, como um operador de máquina ou um planejador de produção, por exemplo (Galaske et al, 2018).

3 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O objetivo geral deste capítulo foi a elaboração de um modelo de avaliação do grau de maturidade das indústrias em relação à implementação das tecnologias e conceitos relacionados com a Indústria 4.0. Primeiramente é apresentada a caracterização da pesquisa e metodologia realizada no presente trabalho. Em seguida, o método de análise sistemática de literatura realizada no Capítulo 2 e composição do Modelo. Na sequência, será a estratégia de desenvolvimento e proposição instrumento de pesquisa.

3.1 Caracterização da Pesquisa

A realização de uma pesquisa proporciona uma observação e um entendimento de um fato a ser investigado. É um processo em permanente construção, por meio da interação entre a realidade e o objeto a ser estudado. É um procedimento sistemático e intensivo, com objetivo de descobrir e compreender fatos que estão inseridos em um determinado contexto. Estuda-se uma pessoa ou grupo capacitado (sujeito da investigação), sob uma perspectiva de uma realidade (objeto da investigação), para evidenciar variáveis de uma experiência (investigação experimental), ou para retratá-la (investigação descritiva), ou para explorá-la (investigação exploratória) (Gerhardt & Silveira, 2009).

A pesquisa científica pode ser classificada de diferentes formas, conforme com os objetivos determinados pelo pesquisador e de acordo com as características próprias de cada dimensão do conhecimento. Esse processo sinaliza a orientação que o estudioso está assumindo para a execução de seu estudo, na qual permite a outros pesquisadores, o acesso aos resultados do seu trabalho, bem como a reprodução em outras áreas ou contextos. Os procedimentos aplicados possuem uma importância fundamental no método da pesquisa, ao possibilitar que o pesquisador responda ao problema apresentado e, posteriormente, alcance os objetivos desejados. Outro ponto relevante, é o fato de aproximar o pesquisador do objeto de estudo, possibilitando novos conhecimentos científicos ou reformulação de uma teoria existente e nos resultados apresentados, novos entendimentos para o fenômeno explorado (Silva, 2019).

A pesquisa básica tem o objetivo de gerar conhecimento que seja expressivo para a ciência e tecnologia, não havendo, obrigatoriamente, uma finalidade prática do conteúdo. Baseia-se em trabalhos e pesquisas que buscam, principalmente, responder perguntas para desenvolver o conhecimento científico sobre o mundo e tudo aquilo que o constituem (Silva, 2019).

Os métodos qualitativos buscam compreender a diferença entre o objetivo e os resultados que não são mensuráveis por meio de números. É utilizada normalmente em estudos de cunho sociocultural com a observação de fatos heterogêneos e próprios. Os métodos quantitativos, por outro lado, têm como

objetivo a quantificação de opiniões e informações para a interpretação e análise dos dados e posterior, uma conclusão (Gerhardt & Silveira, 2009).

A pesquisa exploratória é uma forma de estudo em que o pesquisador toma conhecimento do que está sendo investigado. Possibilita entendimento do objeto por meio das informações encontradas. Ao mesmo tempo, direciona as hipóteses da pesquisa realizada. O resultado do estudo proporciona compreender os fenômenos, encontrar novas ideias e desenvolver outros conceitos e pressupostos (Silva, 2018).

Para Forza (2002), o método *Survey* pode ser considerado como confirmatório, quando o objetivo é testar uma teoria, na qual é possível elaborar hipóteses em relação ao fenômeno estudado. Ao mesmo tempo descritivo, quando se deseja entender este fenômeno conforme sua distribuição em uma determinada população.

A tabela abaixo descreve de forma resumida a classificação da pesquisa do presente estudo.

Tabela 4 - Classificação da Pesquisa - Autor

Natureza objeto	Básico
Forma de Abordagem	Qualitativa/Quantitativa
Objetivo	Exploratório
Delineamento	Survey

3.2 Metodologia

A Metodologia pode ser descrita como estratégia a ser adotada, onde todos passos e métodos aplicados são utilizados para a realização de uma pesquisa e alcançar os objetivos pretendidos. Para compor o Capítulo 2, foi necessário fazer uma revisão de literatura para a Indústria 4.0 e contextualização do modelo de pesquisa a ser realizado, como será apresentado a seguir.

3.2.1 Revisão de literatura

A revisão sistemática é uma espécie de pesquisa científica, com objetivos e procedimentos próprios, fundamental no desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e científicos, pois envolve metodologia, resultado e conclusão, relacionadas à área a ser estudada. A sua elaboração abrange o estudo de trabalhos de outros pesquisadores, a consulta bibliográfica, com a seleção e análise de artigos científicos,

critérios de inclusão e exclusão dos artigos, e as limitações impostas a cada artigo e à revisão em si (Galvão & Ricarte, 2019).

Essa pesquisa foi realizada, inicialmente, com a definição dos termos a partir da combinação das palavras-chaves “*Industry 4.0*” e “*Maturity Model*”, “*Smart Manufacturing*” e “*Maturity Model*” e “*Maturity Model*”, “*Smart Factory*”. A pesquisa não foi restrita às bases científicas, ocorreu também em conjunto de dados bibliográficos, tais como: *Scopus*, *Researchgate* e Google Acadêmico. E a partir dos resultados obtidos, foram selecionados apenas os autores considerados relevantes para a finalidade desta pesquisa, com estudos nos conceitos de Indústria 4.0 e nos modelos de avaliação de maturidade de empresas em recursos digitais ou da Indústria 4.0. O rigor acadêmico foi mantido com pesquisas somente em publicações revisadas. Além disso, foram pesquisados nos artigos relacionados às palavras “*Maturity*”, “*Key Performance*” e “*Assessment*”.

Após a escolha das palavras-chave e dos critérios definidos para a busca, o resultado foi de um total de 357 artigos. Finalizado essa etapa, os artigos foram agrupados e exportados para a plataforma Mendeley. Assim, de acordo com contexto da pesquisa, foram aplicados os seguintes critérios para a análise:

- a) Eliminar artigos em duplicidade;
- b) Eliminar livros fora do tema estudado;
- c) Eliminar artigos fora do tema estudado.

Depois desta análise, foram descartados 147 artigos e 58 livros, restando 152 artigos e 11 livros a serem analisados. Dos artigos restantes, foi realizada a leitura de títulos e resumos, descartando aqueles que não se alinhavam com o tema, e desta forma, obtido um total de 78 artigos e 3 livros. No entanto, optou-se por não descartar nenhum dos artigos do portfólio final, devido ao número obtido de artigos após a aplicação da filtragem, pois a complementação desses artigos serviu como auxiliar aos artigos de referência.

Neste capítulo, serão estudadas as diversas metodologias de avaliação maturidade que medem o estágio em que as empresas se encontram em relação aos conceitos de Indústria 4.0. Na sequência do trabalho, o método Acatech será estudado no capítulo de desenvolvimento. Também serão apresentados os métodos de aplicação da pesquisa e de condução geral do projeto. Para definir a resposta, foram utilizados os seguintes critérios, avaliados de maneira subjetiva em relação ao presente trabalho: rigor científico do trabalho, principalmente em relação ao método proposto e às referências utilizada; e o nível de detalhamento dos passos sugeridos pela metodologia, principalmente no aspecto operacional, de forma a ser possível conduzir o projeto o mais rápido possível.

3.3 Composição do Modelo

O objetivo do modelo proposto é avaliar o nível de maturidade e prontidão das empresas nos conceitos de Indústria 4.0. Neste trabalho, ele é composto de três elementos principais, sendo eles: (i) os estágios de maturidade, (ii) as dimensões e (iii) as questões da avaliação. As capacidades são subitens das dimensões que servem para melhor explicitação de avaliação. Os aspectos avaliativos deste modelo são interdependentes e têm funções específicas para o processo, sendo detalhados abaixo.

3.3.1 Estágios de Desenvolvimento

A avaliação do modelo está relacionada às pontuações de cada etapa que podem ser agregadas em uma pontuação geral. A avaliação então permite identificar o estágio se encontra a empresa em relação a sua maturidade 4.0 e por meio de uma representação visual possibilita facilmente visualizar qual estágio de maturidade médio em que a empresa se encontra e verificar analisar as diferenças entre as áreas estruturais do modelo proposto.

A seguir é apresentada uma breve explicação sobre cada um dos níveis propostos pelo método. No presente estudo de caso, ainda foi acrescentado um nível “zero” (pré-informatização), definido caso ainda não tenha sido realizada a informatização no processo avaliado.

O primeiro estágio é a “Informatização”. Nesse estágio, diferentes tecnologias de informação trabalham de formas isoladas uma da outra na empresa. São usadas principalmente para executar tarefas repetitivas com mais eficiência. Já se encontram parcialmente interligados. Pois muitas máquinas ainda se encontram sem uma conexão digital em sua integridade.

No estágio de “Conectividade”, as informações possam ser integradas internamente. A infraestrutura de tecnologia de informação (TI), antes isolada, é substituída por sistemas conectados. Além disso, sistemas negociais já se encontram conectados entre si e os Sistemas de tecnologia operacional (TO) estão conectados e interoperáveis. No entanto, ainda não existe a integração total das camadas de TI e TO.

No estágio de “Visibilidade”, o processo passa a ser conhecido, sendo denominada de Sombra Digital. As empresas já utilizam os dados vindos de sensores de forma eficiente e os auxiliam a mostrar o que está acontecendo em seu processo para que em qualquer momento as decisões de gerenciamento sejam tomadas baseadas em dados acurados. É um elemento fundamental para as próximas etapas.

A Transparência é o estágio em que a empresa começa a compreender o que está acontecendo em sua organização, envolve a criação da “Sombra Digital” da situação atual da empresa. A análise dos dados capturados é interpretada através de conhecimentos em engenharia que identificam e analisam as

interações entre o digital e o físico, fornecendo o conhecimento necessário para que a tomada de decisões seja de forma rápida e segura.

O estágio “Capacidade Preditiva” é a forma como a empresa consegue simular diferentes cenários futuros, identificando os mais prováveis, por meio da projeção da Sombra Digital. Com esse recurso, consegue prever situações em que possa tomar decisões e implementá-las de forma adequada. É baseada na “Transparência” e depende muito do trabalho de base que foi realizado nessa etapa.

No estágio “Adaptabilidade”, a empresa deve estar preparada para ter processos que permitam a delegação de determinadas decisões aos sistemas de TI. No entanto, para ter essa autonomia, ela precisa analisar a complexidade das decisões e a relação custo-benefício, pois o seu grau de adaptabilidade depende de sobremaneira desse estudo. Para alcançar o objetivo proposto e alcançar os resultados esperados, a empresa deve utilizar a sua “Sombra digital” de forma eficiente, com ações automáticas e com pouca ou nenhuma assistência humana.

3.3.2 Dimensões

A avaliação das dimensões é determinada a partir das competências funcionais da empresa. No modelo proposto é estabelecido 4 dimensões, com dois princípios cada, nos quais estão distribuídas em 27 capacidades (Tabela 5).

Á área “recursos” refere-se aos recursos físicos, inclusive a força de trabalho (recursos humanos), máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final. Além de suas funções específicas, a empresa deve garantir que esses recursos possibilitem uma *interface* entre os mundos físico e digital, a partir de um ponto de vista informativo no mundo digital (sombra digital), que facilite a aprendizagem dos funcionários e melhore o desempenho da empresa. Dois princípios devem ser seguidos: em primeiro lugar, os recursos devem possuir as capacidades digitais necessárias para trabalhar de maneira baseada em informações, permitindo que seus colaboradores sejam capazes de identificar fontes de dados e possíveis processos, para quando interpretados, apoiem a tomada de decisão. Em segundo lugar, as informações estruturadas devem ser claras e de boa qualidade, com a trocas de informações com um objetivo comum e realizadas de forma o mais eficiente possível com a interação entre pessoas e máquinas e entre máquinas.

Tabela 5 - Dimensões - adaptado de Shuh et al (2017)

1. Recursos	
1.1 Digital	1.1.1. Competências digitais.
	1.1.2. Aquisição automatizada de dados
	1.1.3. (pré) processamento descentralizado de dados .
1.2 Comunicação	1.2.1. Comunicação eficiente.
	1.2.2. Projeto de interface baseado em tarefas.
2. Sistema de Informação	
2.1 Processo de Informação	2.1.1. Análise de dados.
	2.1.2. Entrega de dados contextualizados.
	2.1.3. Interfaces de usuário específicas por tarefa.
	2.1.4. Resiliência da estrutura.
2.2 Integrativa das informações	2.2.1. Integração vertical e horizontal
	2.2.2. Gestão de dados
	2.2.3. Interface de dados padrão
	2.2.4. Segurança em TI
3. Estrutura Organizacional	
3.1 Organizacional Interna	3.1.1. Comunidades flexíveis
	3.1.2. Gerenciamento de direitos de decisão
	3.1.3. Sistemas de metas motivacionais
	3.1.4. Gerenciamento ágil
3.2 Colaborativa dinâmica	3.2.1. Benefícios do cliente
	3.2.2. Cooperacional
4.0 Cultura	
4.1 Disposição para mudar	4.1.1. Reconhecimento ao valor dos erros
	4.1.2. Disposição à inovação
	4.1.3. Aprendizagem e tomada de decisão baseada em dados
	4.1.4. Desenvolvimento profissional contínuo
	4.1.5. Preparando a mudança
4.2 Colaborativa Social	4.2.1. Liderança democrática
	4.2.2. Comunicação aberta
	4.2.3. Confiança nos processos e sistemas de informação

O recurso “Sistemas de informação” tem como objetivo preparar, armazenar e fornecer dados e informações que possam apoiar os processos na tomada de decisões. No primeiro princípio, ‘Processo de Informação’, os sistemas devem ser integrados para permitir o uso de dados comuns em toda a cadeia de valor, criando um sistema de informações com uma arquitetura em uma plataforma central que conecte os sistemas de TI existentes entre si e com outros recursos. O segundo princípio, é da “Integrativa das informações”, que tem o objetivo de aprimorar o uso de dados e a agilidade de

comunicação, como um recurso que agrega valor para processamento e disponibilidade das informações a toda empresa.

A “Estrutura organizacional” se refere à organização de uma empresa (estrutura e processos operacionais) e sua posição dentro da rede de valor. Estabelece normas de colaboração tanto internamente como externamente. Consiste em dois princípios: “Organizacional Interna” e “Colaboração dinâmica”. O primeiro princípio se refere aos recursos de como uma empresa pode ser configurada dinamicamente, permitindo que seus empregados possam atuar em diferentes áreas. É particularmente adequado para organizações com forças de trabalho altamente qualificadas. O princípio da “Colaboração dinâmica em redes de valor” está relacionado com a troca automatizada e contínua de informações entre empresas. Esse processo pode resultar na troca mais inteligente de dados, bens e serviços. Além disso, permite a redução de algumas barreiras e aumento da flexibilidade em processos como consulta, pedidos e processamento de produto, por exemplo.

A “Cultura” é um conjunto de valores, hábitos e crenças compartilhados por seus integrantes e que auxilia na tomada de decisão e no direcionamento das ações de cada um deles. A transformação da cultura segue dois princípios básicos: o primeiro princípio a “Disposição para mudar”, se refere à disposição dos funcionários para aceitar um novo conhecimento baseado em dados e fatos. Como parte do processo de mudança, a autoavaliação se torna fundamental para os funcionários e da empresa para que se adapte às mudanças decorrentes das novas tecnologias. Além disso, o novo ambiente empresarial deve ser caracterizado por confiança e por uma nova relação social com objetivo de alcançar a transformação esperada de forma mais efetiva. O segundo princípio, “Colaborativa social”, deve contribuir para acelerar a disseminação do conhecimento dentro da empresa através da confiança nos sistemas e processos, da liderança democrática e de uma comunicação aberta.

3.4 Desenvolvimento do Instrumento de Pesquisa

Os modelos de maturidade são instrumentos de pesquisas desenvolvidos para encontrar as melhores práticas ou práticas comuns, com objetivo de avaliar o grau de maturidade de determinado processo ou organização. O modelo utilizado em uma avaliação deve analisar o estado atual, identificando suas potencialidades e eventuais vulnerabilidades, para servir de estudos ou para realização de ações necessárias para as mudanças a serem efetivadas. (Torres et al, 2015).

3.4.1 Estratégia do Desenvolvimento de Pesquisa

É nessa fase que é feita a elaboração conforme a literatura na qual é atribuída às capacidades, as dimensões e o formato do questionário. Em relação a este trabalho, a elaboração do instrumento de pesquisa foi baseada nas necessidades identificadas para investigação do objeto: tema proposto, modelo de maturidade e suas implicações. Assim, o desenvolvimento desta pesquisa ocorreu em três etapas distintas e apresentadas no quadro a seguir.

Tabela 6 – Desenvolvimento da Pesquisa - Autor

Etapa 1	Caracterização da pesquisa
Etapa 1	Elaboração do instrumento de pesquisa
Etapa 2	Aplicação do instrumento de pesquisa/coleta de dados
Etapa 3	Critério de análise de dados

3.4.2 Caracterização das dimensões para formulação do Instrumento de pesquisa

Nessa etapa serão identificados e caracterizadas as dimensões necessárias para construção de um instrumento capaz de avaliar a maturidade em que se encontra uma indústria em relação aos conceitos da Indústria 4.0. Assim, foi elaborado a Tabela 7 com a descrição das dimensões, com base no Capítulo 2 da Fundamentação Teórica.

Tabela 7 – Dimensões utilizadas no instrumento de pesquisa - Autor

Dimensão	Descrição	Autores
Recursos	São os recursos físicos, inclusive a força de trabalho (recursos humanos), máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final.	Santos (2018)
Sistema de Informação	O preparo, armazenamento e fornecimento dos dados e informações para apoiar tomadas de decisões	Brehm et al (2019)
Estrutura	São componentes estruturais que compõe organização de uma empresa, inclusive seus processos operacionais e sua posição dentro da rede de valor	Kagermann et al (2016)
Cultura	Se refere ao conjunto de valores, hábitos e crenças inseridos no contexto de uma empresa	Schwab (2016)

O processo de formulação da pesquisa foi realizado conforme a Tabela 7, sendo composto pelos componentes apontados no Capítulo 2. As 4 dimensões formuladas de acordo com tema proposto e com base na literatura apresentada neste trabalho representam uma relevância para a contribuição ao conhecimento geral, a partir da revisão de literatura e outros artigos. Dessa forma, o enunciado descrito na Tabela 7 atendeu a um objetivo específico (d) proposto no Capítulo 1.2.2. Além disso, o conhecimento gerado pela literatura, permitiu adicionar outros conhecimentos necessários ao trabalho.

A escala Likert foi usada como forma de avaliar o desenvolvimento de cada item em relação ao estado atual em que as empresas avaliadas se encontram.

No processo de geração do instrumento de pesquisa, foi buscado entre os formatos existentes em outros trabalhos um ou mais trabalho que tivessem ligação em relação ao objetivo proposto no trabalho. Esse processo possibilitou conhecer os diversos questionários e formas de avaliação, e com isso gerando um formulário único, que descrevem as dimensões, seus objetivos e necessidades para realizar a avaliação das empresas. Adicionalmente, em relação às 27 capacidades, foi inquisitivo todo um questionário de perguntas, onde pudessem retirar um conhecimento para realizar as análises e processo de elaboração das hipóteses e descobrimentos sobre a população pesquisada.

No questionário elaborado, as questões versaram sobre as identidades proposta no encontradas no índice Acatech, além dos autores descritos no Tabela 7. Possibilitando, entender a situação e analisar as dificuldades de estabelecer um questionário consistente, de acordo com o tema proposto no trabalho e adequado para as empresas responderem.

3.4.3 Elaboração do Instrumento de Pesquisa

O método de pesquisa é o desenvolvimento de procedimentos sistemáticos para a descrição e a explicação de fenômenos. A escolha é realizada a partir das características do objeto a ser estudado e de acordo com as modalidades de pesquisa (Praça, 2015).

O método foi escolhido o Survey, um tipo de investigação quantitativa, com objetivo de representar, explicar e/ou caracterizar os aspectos de uma população a partir da amostragem estatística retirada de um universo e a busca de informações por meio dos traços e pontos de vista de uma determinada população.

Para este trabalho, optou-se pelo questionário auto-aplicável da plataforma *Google Forms*, uma ferramenta que permite a criação rápida de formulários de pesquisa online como instrumento para coleta de dados por suas vantagens em relação aos demais instrumentos como por exemplo: entrevista, registro institucionais e observação. O questionário consistiu de 27 perguntas do tipo de múltipla escolha com resposta única, com pontuação de 0 a 6 através de 7 estágios - Não informatização, Informatização, Conectividade, Visibilidade, Transparência, Capacidade Preditiva e Adaptabilidade onde foram abordadas 4 áreas para o estudo: Recurso, Sistema de Informação, Estrutura Organizacional e Cultura e suas capacidades. Cujo propósito é a avaliação de maturidade e prontidão baseado na metodologia Acatech das empresas do Polo Industrial de Manaus (PIM) em relação aos conceitos de Indústria 4.0.

3.5 Validação da pesquisa

Para Silva (2019), os critérios para validação de uma pesquisa devem ser baseados em uma literatura que represente a atualidade no processo de confiabilidade do trabalho proposto. Segundo ele, para sua confiabilidade, os métodos devem “estabelecer a confiabilidade de mensurações: confiabilidade entre avaliadores, confiabilidade de teste/reteste, confiabilidade paralela e confiabilidade de consistência interna”.

A utilização de um conjunto de metodologias e sistemas de medidas de desempenho possibilitam à empresa avaliar o seu desempenho geral, suas áreas e seu pessoal. Servem para conhecer o estado atual da empresa e para apoiar tomadas de decisão de seus agentes. Mas, para isso acontecer, é preciso que esses processos sejam confiáveis e que promovam o verdadeiro conhecimento a ser adquirido. Para este estudo, foi utilizado o alfa de Cronbach que é uma técnica normalmente usada para avaliar a confiabilidade e medir um conjunto de dois ou mais indicadores de construto, de forma confiável (Gaspar & Shimoya, 2017).

De acordo com Silva (2019), o coeficiente alfa de Cronbach, formulado por Lee J. Cronbach em 1951, é uma dos instrumentos estatísticos mais fundamentais e divulgados em pesquisas para a formulação de testes e a sua aplicação.

Para Gaspar & Shimoya (2017) a realização de um teste de confiabilidade no coeficiente alfa de Cronbach, precisa que a medição de um valor observado X seja formado por duas variáveis em que o valor verdadeiro da medição representa “ V ” e um erro aleatório de medição representa “ E ”. Neste método, cada linha da matriz X retrata um elemento enquanto cada coluna retrata uma pergunta. As respostas metrificadas podem estar em qualquer escala. Assim, o coeficiente alfa de Cronbach é medido de acordo com a Equação (1):

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[\frac{\sigma_t^2 - \sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sigma_t^2} \right]$$

Onde σ_i^2 variância de cada coluna da matriz X, ou seja, é a variância relacionada a cada questão da matriz X e σ_t^2 é a variância da soma de cada linha da matriz X, ou seja, é a variância da soma das respostas de cada indivíduo. Sendo que o valor de k deve ser maior que 1, para que não seja zero no denominador e o n deve ser maior do que 1 para que não ocorra zero no denominador no cálculo. Para Hora et al (2010), a tabela abaixo representa a aplicação do coeficiente, onde cada coluna representa um item e cada linha representa um avaliador, com convergência entre um item e um avaliador.

Tabela 8 – Tabulação dos dados de questionário para cálculo do alfa de Cronbach - Hora et al (2010)

Avaliadores	Itens						Total
	1	2	...	i	...	k	
1	X ₁₁	X ₁₂	...	X _{1i}	...	X _{1k}	X ₁
2	X ₂₁	X ₂₂	...	X _{2i}	...	X _{2k}	X ₂
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
p	X _{p1}	X _{p2}	...	X _{pi}	...	X _{pk}	X _p
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	X _{n1}	X _{n2}	...	X _{ni}	...	X _{nk}	X _n
	S ² ₁	S ² ₂	...	S ² _n	...	S ² _k	S ² _t

De acordo Gaspar & Shimoya (2017), os itens descritos na metodologia alfa de Cronbach devem ser, a princípio, independentes, com uma única ideia representando sua realidade, o que implica resposta de um certo aspecto se for de maneira similar a resposta de outro aspecto, indicando que este tem a explicação do outro. Para a sua aplicação, o método deve seguir a determinados pressupostos, como: fragmentação do questionário, alinhado em dimensões e organizadas em um mesmo tópico, além da aplicação deste questionário em uma expressiva e heterogênea população. Outro ponto fundamental, a

validação do instrumento de pesquisa deve realmente medir aquilo que se propõe. Para eles, a classificação da confiabilidade do coeficiente alfa de Cronbach podem seguir os seguintes limites:

A. $\alpha \leq 0,30$ – Muito baixa

B. $0,30 < \alpha \leq 0,60$ - Baixa

C. $0,60 < \alpha \leq 0,75$ - Moderada

D. $0,75 < \alpha \leq 0,90$ - Alta

E. $\alpha > 0,90$ – Muito alta

3.5.1 Aplicação do teste de validação da pesquisa

O teste validação do instrumento de avaliação consistiu da aplicação do modelo junto a 9 empresas do mesmo grupo de empresas do público-alvo do estudo, onde por questão de confidencialidade receberam as letras A, B, C, D, F, G, H, I e J, por considerar a importância das indústrias participantes e para melhor contextualizar a avaliação. O objetivo de aplicação do teste de validação foi testar empiricamente o modelo para verificar sua aplicabilidade, confiabilidade e validade do instrumento de pesquisa. Assim, na metodologia aplicada buscou-se uma forma de avaliar a maturidade de suas empresas de forma autônoma. Ao mesmo tempo que procurou-se comprovar a sua abrangência e representatividade por meio das dimensões e capacidades relativas à transformação digital das empresas pesquisadas. No Quadro abaixo, é descrito o segmento das indústrias, cargo, atuação e porte das empresas participantes.

Tabela 9 – Caracterização da Empresas entrevistadas – Autor

Empresa	Segmento	Cargo do respondente	Atuação	Porte
A	Eletroeletrônico	Gerente de Engenharia de Processos	Multinacional	Grande
B	Eletroeletrônico	Diretor Industrial	Nacional	Grande
C	Eletroeletrônico	Especialista em Engenharia de Processos	Multinacional	Grande
D	Duas Rodas	Diretor Industrial	Multinacional	Grande
F	Cosméticos, Produtos de Perfumaria e de Higiene Pessoal	Coordenador de Engenharia Industrial	Nacional	Médio
G	Eletroeletrônico	Engenheiro de Processos	Multinacional	Grande
H	Duas rodas	Diretor Administrativo	Nacional	Médio
I	Duas rodas	Coordenador de Produção	Multinacional	Médio
J	Eletroeletrônico	Especialista em processos	Nacional	Grande

Por questão de conveniência e devido às condições do momento (durante a pandemia), a validação do instrumento de pesquisa, como falado anteriormente, ocorreu nas mesmas empresas e respondentes

da avaliação do grau de maturidade. Para sua realização, foi utilizado o questionário, conforme o anexo II, que foi enviado após reunião on-line com as empresas. O resultado encontrado no teste de validação apresentou o seguinte resultado.

Tabela 10 – Respostas das empresas entrevistadas – Autor

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
A	2	1	2	2	2	1	1	1	3	3	2	2	2	3	3	1	2	2	2	3	3	3	2	3	2	2	2
B	4	2	1	5	2	2	2	4	3	3	3	3	3	3	3	1	2	2	5	3	4	4	4	5	5	3	3
C	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5
D	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	2	2	1	0	0	2	2	0	0	2	2	0	2
F	6	4	4	4	3	6	4	5	3	4	5	5	4	4	3	3	1	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
G	2	4	5	6	5	6	4	4	2	2	2	6	6	6	6	5	4	4	3	6	6	6	6	2	6	2	6
H	1	2	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	2	1	0	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
I	2	0	1	2	0	0	2	2	2	2	2	1	3	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2
J	2	2	1	3	3	3	3	3	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	6	4	5

3.5.2 Resultado da validação da pesquisa

O resultado geral encontrado na pesquisa para o alfa de Cronbach foi de 0.99, considerado $\alpha > 0,90$ – Muito alta. Para Gaspar & Shimoya (2017), a correlação e sua intensidade entre os quesitos de um questionário pode ser verificada através da escala de medição entre seus itens e são considerados consistentes desde que seus itens sejam padronizados e válidos. Na pesquisa realizada, é importante salientar que sua a confiabilidade foi dependente muitas vezes da falta de conhecimento dos avaliadores ou falta de desejo de responder de forma acurada em relação a um ou mais itens do questionário. No entanto, em um teste de confiabilidade, o valor mínimo de confiabilidade de um questionário é determinado pelo pesquisador, podendo seu grau ser estabelecido com objetivo de examinar a excelência do trabalho realizado (Silva, 2019).



Figura 11 – Resultado encontrado por dimensão - Autor

Analisando-se cada dimensão de forma individual, observou-se que as todas dimensões obtiveram um bom nível de confiabilidade satisfatório e classificado $\alpha > 0,90$ – Muito alta. Apenas a dimensão Sistema de Informação apresentou um coeficiente abaixo dos outros (0,93). A melhor classificação foi a dimensão Cultura (1,07), o que pode indicar que as empresas avaliadas, tem seu conhecimento bastante forte em relação ao que acontece em suas organizações. Assim, considerando as classificações por dimensão, o questionário mostrou-se bastante confiável e com boa probabilidade de ser aplicado a uma população estatisticamente.

3.6 Aplicação do Instrumento de Pesquisa

Objetivo desta fase é apresentar a unidade de pesquisa, realizar a aplicação do instrumento de pesquisa nas empresas da unidade de Pesquisa e o tratamento dos dados encontrados.

3.6.1 Unidade de Pesquisa

A Zona Franca de Manaus (ZFM) é uma área de livre comércio de importação e de exportação e de incentivos fiscais especiais, com objetivo de desenvolver economicamente a região através dos polos industrial, comercial e agropecuário (Superintendência da Zona Franca de Manaus, 2016). Sua área de atuação é a Amazônia Ocidental (fig 9), compreende os estados do Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima e a Área de Livre Comércio de Macapá/Santana (Amapá) (Governo do Brasil, 2021).

Entre as vantagens para as empresas se instalarem na Zona Franca de Manaus destacam-se: Taxas alfandegárias mais baixas; Área de livre comércio de importação e exportação; Redução e isenção de impostos de importação, exportação e Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI). O objetivo então, é funcionar como uma área de atração de indústrias, operando principalmente por meio dos incentivos fiscais para as empresas que quiserem se instalar na região (Governo do Brasil, 2021).



Fig. 12 - Área de atuação da Zona Franca de Manaus (ZFM) - (Governo do Brasil, 2021)

O responsável pela administração dos incentivos fiscais ZFM é a Superintendência da Zona Franca de Manaus (Suframa), que é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Economia. Entre as suas principais funções destacam-se: a cooperação com instituições de ensino e pesquisa, o financiamento de projetos de apoio à infraestrutura econômica, produção, turismo, pesquisa e desenvolvimento e de formação de capital intelectual, a administração dos incentivos fiscais e acompanhamento dos projetos industriais das fábricas instaladas no Polo Industrial de Manaus (PIM) (Governo do Brasil, 2021).

Para Andrade (2015), o PIM é considerado a base de sustentação da ZFM, através de 500 indústrias dos mais diversos tamanhos e de um número expressivo de empregos, diretos e indiretos (500.000), em áreas como eletroeletrônicos e duas rodas. Entre uma grande variedade de produtos fabricados, destacam-se: televisores, motocicletas e concentrados para refrigerantes.

Para a empresa obter aprovação de projetos industriais e ter acesso aos incentivos fiscais especiais do modelo Zona Franca de Manaus, é necessário seguir determinadas condições, como cumprimento do Processo Produtivo Básico (PPB), investimento em bens de capital, geração de emprego, investimento em capacitação de recursos, dentre outros (Governo do Brasil, 2021).

O PPB é um processo que compreende etapas de processo de fabricação mínimas, nas quais as empresas deverão realizar para fabricação do seu produto. O objetivo desse sistema, é ter segurança jurídica e aumentar a competitividade das empresas instaladas, para compensar o custo logístico da distância dos grandes centros consumidores e gerar empregos e renda na região (Braga, 2014). A iniciativa de fixação ou modificação de PPB para um produto específico é realizada pela empresa interessada nos incentivos fiscais. Porém, cabe ao governo federal, através de um Grupo de trabalho (GT-PPB), avaliar a proposta e propor alterações ao PPB. A elaboração do PPB é uma negociação que envolve a empresa interessada, fornecedores, empresas concorrentes e ou participação de representantes dos trabalhadores. A sua deliberação ocorre por meio de uma Portaria do Ministério da Economia (Bacovis, 2018).

3.6.2 Caracterização das indústrias participantes da pesquisa

Para caracterizar as indústrias respondente, é importante destacar a liderança dessas empresa em seus setores e o seus elevados níveis em relação a suas estruturas operacionais. Isso foi observado em índices de desenvolvimento de acordo com os indicadores industriais da Suframa.

O instrumento de pesquisa proposto foi aplicado no mesmo grupo das nove empresas (Tabela 9) que realizaram o teste confiabilidade. No caso deste trabalho, a escolha das pessoas responsáveis pelas repostas do questionário, se deu pela representatividade, e, principalmente, pelo poder de decisão frente à operação da empresa, ou seja, diretores, gerentes e coordenadores.

A pesquisa foi realizada no Polo Industrial de Manaus (PIM) e a abordagem às indústrias participantes seguiu-se o seguinte roteiro: constatou-se primeiramente através de um telefonema aos funcionários de 12 empresas, convidando-as para a um reunião *on-line*. Após essa conversa com todas empresas referente a pesquisa. Nove aceitaram o convite para realização da avaliação e três informaram que não poderiam participar, entre as suas alegações: a não autorização pela Diretoria. Após a reunião, foi enviado um com a respectiva avaliação. As indústrias demoraram em média de três semanas para enviar o questionário respondido.

No gráfico abaixo (Figura 13), verificamos que na percentagem encontrada nos 3 segmentos que participaram da avaliação.

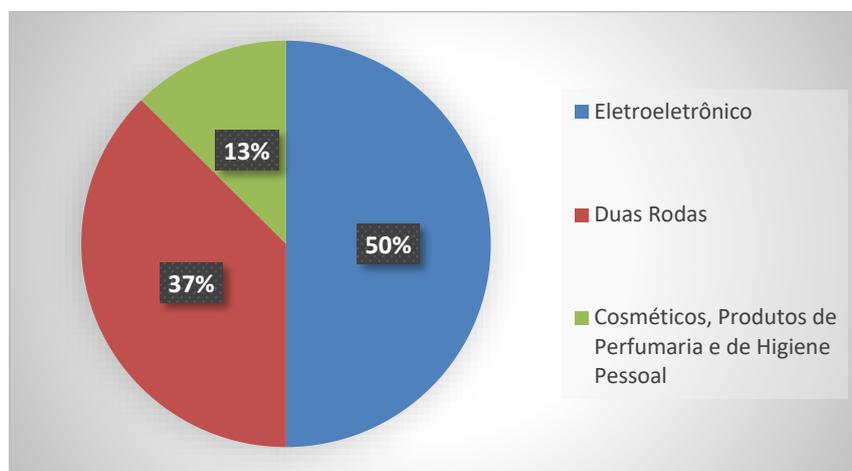


Figura 13 – Gráfico de Empresas por Segmento

O formulário de pesquisa foi aplicado utilizando-se o aplicativo *Google Forms*, uma ferramenta que permite a criação rápida de formulários de pesquisa online. Antes de ser lançado oficialmente a todos os respondentes, o formulário foi devidamente testado através de uma empresa participante da avaliação para estimar o tempo de resposta e corrigir eventuais erros de redação das perguntas. O tempo de resposta foi de cerca de 15 minutos por etapa, num total de 4 etapas.

Ressalta-se que o foco do presente trabalho é demonstrar uma proposta de trabalho razoável para início de atividades de transformação digital em uma determinada região e não apresentar os resultados de uma medição em uma indústria específica.

3.6.3 Tratamento dos dados

O tratamento da informação deu-se em razão de métricas já existentes ou delineadas de modelos de avaliação previamente utilizados. A medição do grau da maturidade das organizações foi aplicada conforme algoritmo de cálculo da maturidade já empregado e verificado por outros autores.

Para analisar as respostas do questionário, a escala Likert foi realizada a partir de uma pontuação que varia de 0 a 6, em 7 estágios (0 - Não informatização, 1 - Informatização, 2 - Conectividade, 3 - Visibilidade, 4 - Transparência, 5 - Capacidade Preditiva, 6 - Adaptabilidade).

Após o retorno dos questionários, passou para a tabulação dos dados as respostas coletadas na pesquisa foram exportadas para o Microsoft Excel e nele foram tabuladas da seguinte forma:

1. A soma das respostas para ser utilizado no cálculo de médias;
2. Agrupou-se as respostas por Recursos e calculou-se a média de respostas;
3. O nível em que se encontram as empresas em relação ao seu estágio de maturidade.

No presente trabalho foram elaborados gráficos pertinentes a cada proposição discutida pelo presente trabalho. Outro ponto fundamental, os resultados encontrados foram feitos de análises das respostas por cada aspecto do estudo e por cada participante da pesquisa. O processo resultou em considerações relativas a cada fator necessário para composição das discussões no final do estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO CRÍTICA

Após a realização da pesquisa, é apresentado neste capítulo os resultados encontrados e suas análises com objetivo de alcançar o principal objetivo proposto nesta dissertação: avaliar o estágio de maturidade/prontidão em que se encontram as empresas do Polo Industrial de Manaus (PIM) em relação à Indústria 4.0.

A análise foi feita em três fases: a primeira se refere aos resultados encontrados por cada dimensão. A segunda, em relação aos resultados identificados por empresa. E por último sobre o resultado geral atingido, com discussão como todo e conclusão do estudo. Para cada dimensão, é feito um pequeno resumo das capacidades necessárias que cada empresa deve possuir. Os resultados apresentados nos relatórios estão suportados nas avaliações das perguntas orientadoras constantes no Anexo I, e que são de fato as respostas diretamente obtidas junto às empresas.

4.1 Dimensões

No aspecto geral, em relação às dimensões avaliadas no método de avaliação de maturidade aplicado nesta pesquisa demonstraram um grau de nivelamento mediano no aspecto quantitativo, conforme o resultado encontrado no Anexo e reproduzido no gráfico da Figura 14.

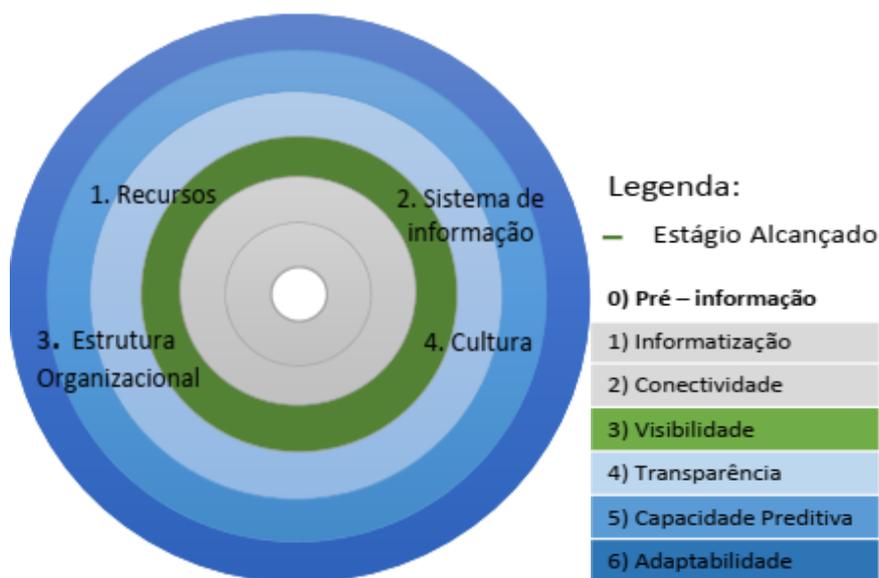


Figura 14 – Gráfico dos estágios alcançados por dimensão

No caso, a análise e a interpretação dos resultados da pesquisa permitiu a construção de algumas hipóteses relacionadas às dimensões propostas para presente trabalho.

4.1.1 Recursos

Em relação à dimensão “Recursos”, foi verificado que apesar das empresas já possuírem um sistema de informática estabelecido, ainda não conseguem promover a conexão plena entre os sistemas Operacionais e Táticos. O estágio encontrado (Visibilidade) nesse aspecto, conforme a Figura 14, mostrou a semelhança com as outras dimensões. O que demonstraria que boa parte das empresas do PIM já estaria no mesmo nível. No entanto, se observamos o gráfico dos níveis das capacidades alcançadas por empresa (Figura 15), verificamos uma grande disparidade, onde 4 empresas ultrapassaram o nível médio encontrado na dimensão e o restante chega no máximo o nível 2. É importante notar que somente duas empresas (uma cada) conseguiram atingir o nível máximo (Adaptabilidade) em duas das capacidades avaliadas: Competências digitais e Comunicação eficiente.

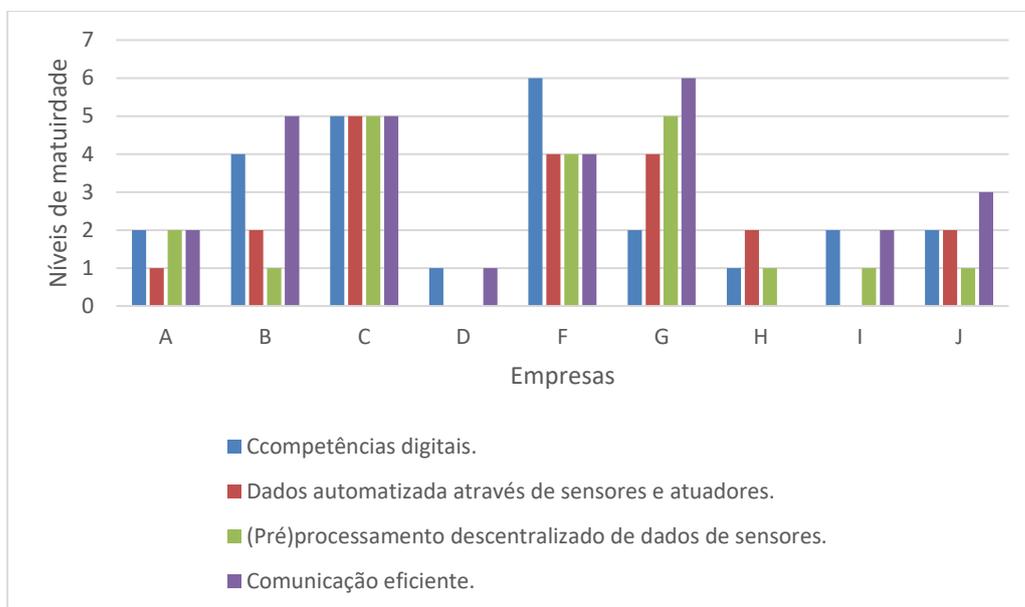


Figura 15 – Gráfico dos níveis das capacidades alcançadas por empresa

Outro ponto encontrado na pesquisa, a capacidade “(Pré) processamento descentralizado de dados de sensores” obteve os piores índices em quase todas empresas avaliadas. Inclusive, alcançando o nível 0 em uma delas. Essa questão é interessante, pois são empresas de um certo porte, que apesar de já possuírem os equipamentos com um certo nível de sofisticação, o resultado apresenta um certo desnivelamento e inconsistência na realização da conexão dos seus dados em relação ao seus processos. Em relação a média dos níveis alcançados apresentados (Figura 16) notou-se que a única capacidade que ultrapassou o estágio de "Conectividade" foi a da “Comunicação eficiente”, as outras capacidades atingiram no máximo o segundo estágio (Conectividade). Inclusive a capacidade “(pré) Processamento

descentralizado de dados de sensores” somente atingiu o primeiro estágio (Informatização) neste quesito.

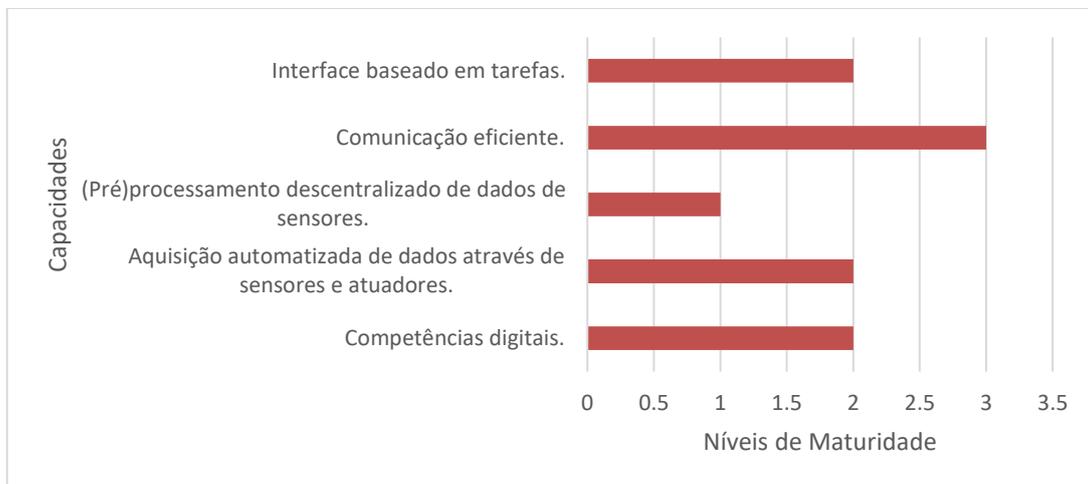


Figura 16 - Gráfico dos níveis alcançados por Capacidades

O caminho já existe e é fundamental que as empresas reconheçam a necessidade de aumentar as competências digitais entre seus colaboradores, através de treinamentos e o desenvolvimento do conhecimento multidisciplinar. Melhores seus processos digitais e realmente busque a transformação de suas formas de produção.

4.1.2 Sistemas de Informação

As empresas nessa dimensão já obtiveram um melhor aspecto evolutivo conforme o gráfico das empresas (Figura 17) em relação a seus desenvolvimentos. Com várias empresas atingindo o nível 6 (Adaptabilidade) em algumas capacidades.

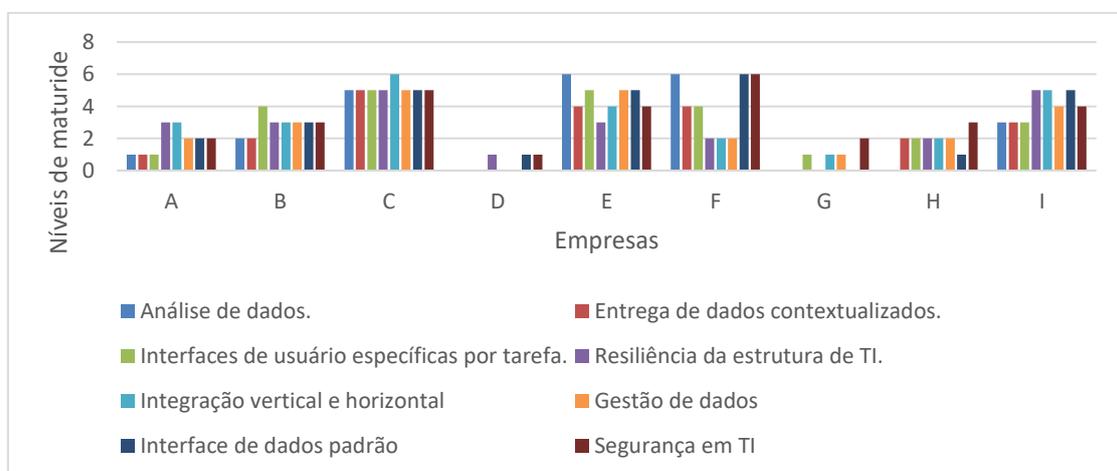


Figura 17 - Gráfico dos níveis das capacidades alcançadas por empresa

O resultado encontrado na dimensão, como em toda pesquisa, mostra-se na média. Aliás, foi nesse aspecto que quase todas as capacidades obtiveram o mesmo nível 3 (Figura 18). O que demonstra uma igualdade nos processos de informação nas empresas pesquisadas. Para alcançar a transformação digital de forma adequada e com sucesso, é fundamental que as empresas do PIM façam uso da integração eficiente dos dados entre os vários programas existentes em suas fábricas, tanto vertical como horizontal.

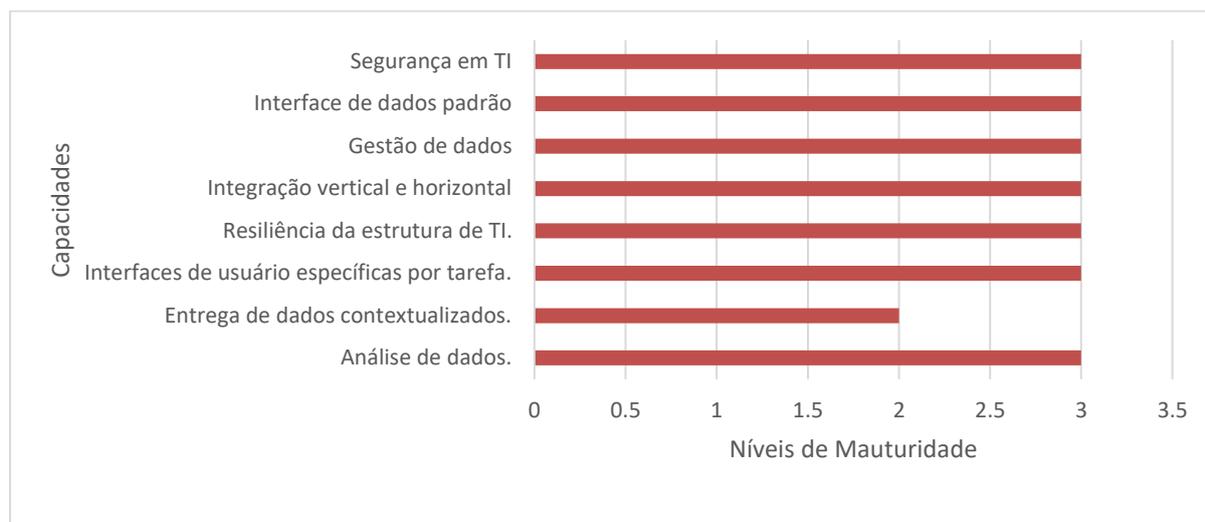


Figura 18 - Gráfico dos níveis alcançados por Capacidades

Na pesquisa realizada, além disso, com a gestão de dados eficiente, através de sistema central de sistema, é fundamental que empresas que ainda não atingiram uma conexão eficiente de seus processos, realizem a integração entre esses sistemas com objetivo gerar conhecimentos para toda empresa. Outro fator fundamental, se refere a Segurança Digital, de acordo com a pesquisa, embora a maioria das empresas tenha alcançado nível 3 (Figura 18). O resultado é preocupante, pois sem uma eficiente de sistema de segurança digital, há uma grande possibilidade de brechas nos sistemas de informática dessas empresas, possibilitando um potencial ataque de invasores digitais. Essa questão é primordial às empresas, pois a falha nesse sistema eficiente, pode envolver altos custos financeiros, atrasos na produção e o mais grave, a paralisação de toda empresa.

4.1.3 Estrutura Organizacional

Na dimensão 'Estrutura Organizacional', foi verificado o mesmo resultado mediano (Figura 14) alcançado pelas outras dimensões. É observado também que, de um modo geral, nas empresas avaliadas, as capacidades avaliadas se colocaram em níveis bastante variados nesse aspecto (Figura

19), dependendo do nível de maturidade em que uma empresa se encontra em sua evolução digital. Por exemplo, ao olharmos a empresa F, verificamos um alto índice de desenvolvimento digital em várias de suas capacidades, inclusive duas de suas capacidades (Comunidades flexíveis e Gerenciamento de direitos de decisão atingiram o nível 6 (Adaptabilidade). Por outro lado, a empresa D teve em sua avaliação os menores índices nesse quesito, inclusive, com que duas de suas capacidades (Foco nos benefícios do cliente e Cooperação dentro da rede) nem alcançado o estágio de Conectividade.

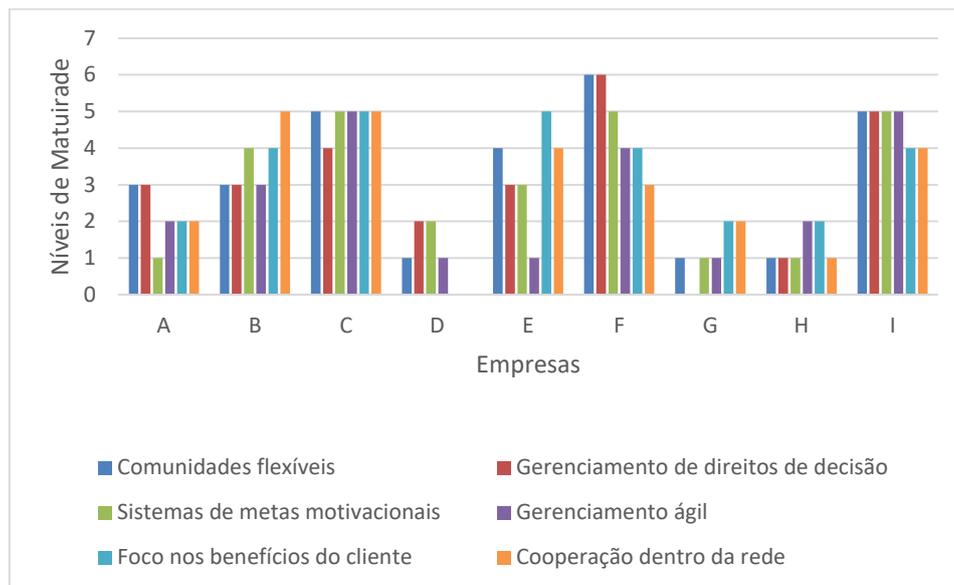


Figura 19 - Gráfico dos níveis das capacidades alcançadas por empresas

Por outro lado, no aspecto geral, as empresas atingiram o nível 3 (Visibilidade) em suas capacidades, conforme o Gráfico relativo a esta dimensão (Figura. 20). No entanto, olhando de uma maneira mais profunda esses números, o nível apresentado nesta dimensão, indica que ainda existe um bom caminho para o pleno desenvolvimento digital em boa parte das empresas. Fazendo que haja uma imperiosidade delas transformarem a estrutura organizacional interna (estrutura e processos operacionais), definindo em sua rede de valor, regras claras de organização e trocas de informações tanto internas como externas. Além disso, é essencial que elas troquem informações automatizadas e realizem uma cooperação contínua entre elas com objetivo de proporcionar transparência no mercado.

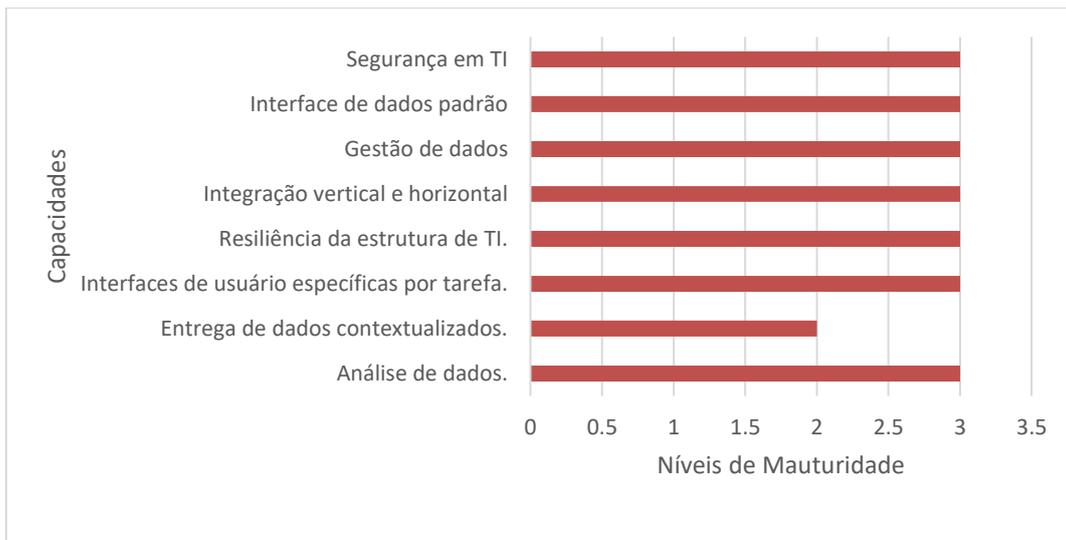


Figura 20 - Gráficos dos níveis alcançados por Capacidades

Além disso, é importante reduzir entraves tecnológicos para que haja uma maior flexibilidade em suas cadeias produtivas, através da automatização de seus processos manuais, como pedidos de produtos, planejamento e armazenagem. E com isso obter mais eficiência na produção de seus bens e ou serviços.

4.1.4 Cultura

Em relação a esta dimensão, a agilidade de uma empresa é altamente dependente do comportamento de seus colaboradores e da necessidade de mudança na sua cultura organizacional para realização de sua transformação digital.

No presente trabalho, se observamos as capacidades nesse aspecto, conforme o gráfico da Figura 21, podemos notar que os níveis alcançados se apresentaram de forma irregular, com em três das nove empresas pesquisadas atingido o maior estágio de desenvolvimento de maturidade na capacidade “Estilo e liderança”, o nível 6 (Adaptabilidade), Enquanto que três empresas alcançaram somente o nível 2 (Conectividade) na avaliação. Outro ponto a destacar, a empresa D teve 3 capacidades (Aprendizagem e tomada de decisão baseada em dados, Desenvolvimento contínuo e Comunicação) que sequer alcançaram o primeiro estágio de desenvolvimento.

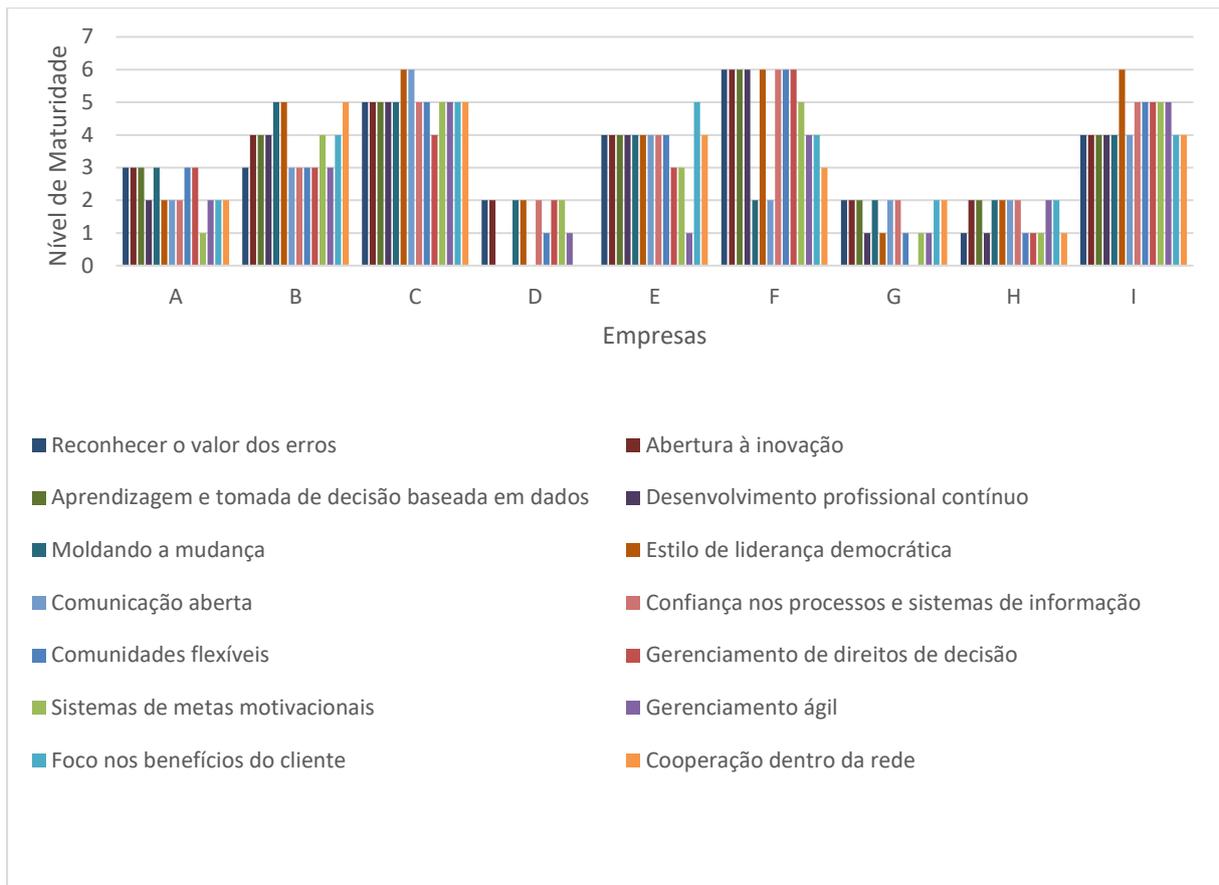


Figura 21 - Gráfico dos níveis das capacidades alcançadas por empresa

É importante observar de acordo com o gráfico das capacidades (Figura 22), o resultado alcançado (Visibilidade) nesta dimensão se repetiu de forma semelhante com outras dimensões da pesquisa realizada, Por outro lado, neste quesito, o estudo demonstrou que novamente, a maioria da empresas ainda não consegue alcançar a agilidade esperada para realizar suas mudanças e atingir as suas capacidades plena forma consistente. É fundamental, portanto, que a transformação de sua cultura corporativa se faça através de um planejamento de suas atividades para o futuro e a identificação das habilidades necessárias para seus colaboradores e uma predisposição para para mudança de todos seus operadores.

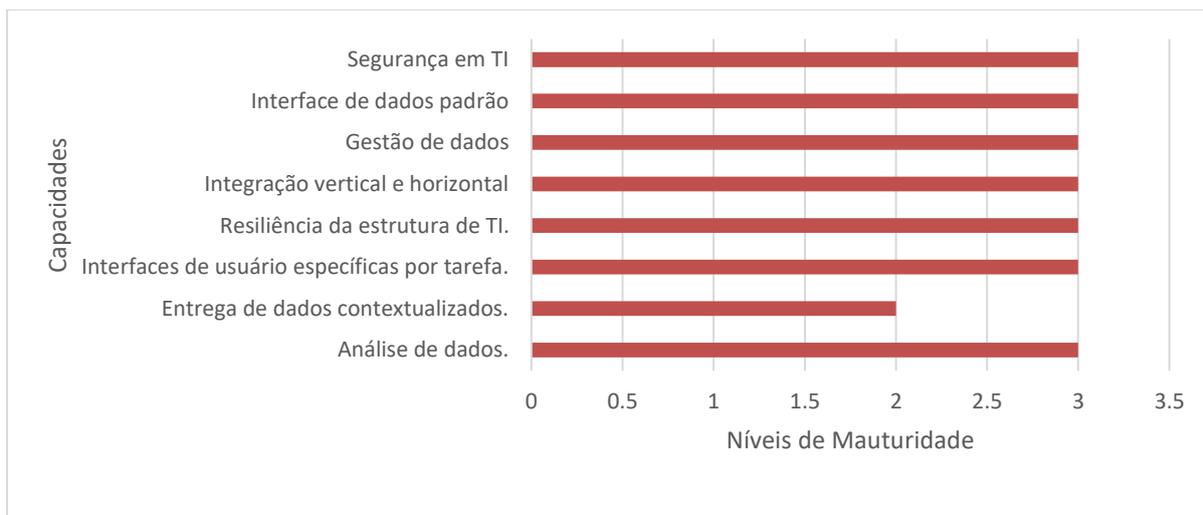


Figura 22 - Gráficos dos níveis alcançados por Capacidades

Neste aspecto encontramos as mesmas diferenças encontradas nas dimensões anteriores. Porém, notamos que nesta dimensão já podemos encontrar um número maior de empresas em estágio de evolução consistente. Assim, é fundamental que na busca da transformação digital, a organização tenha seu grupo de funcionários a disposição para o desenvolvimento profissional contínuo e a adaptação contínua do próprio comportamento em relação a um ambiente em mudança.

4.2 Empresas

A aplicação do modelo proposto de avaliação de maturidade identificou os diferentes níveis de maturidade das unidades produtoras conforme o apresentado na Figura 23. No caso, a pesquisa revelou uma certa disparidade de nível encontrado em algumas empresas em relação as outras com um índice bastante elevado.

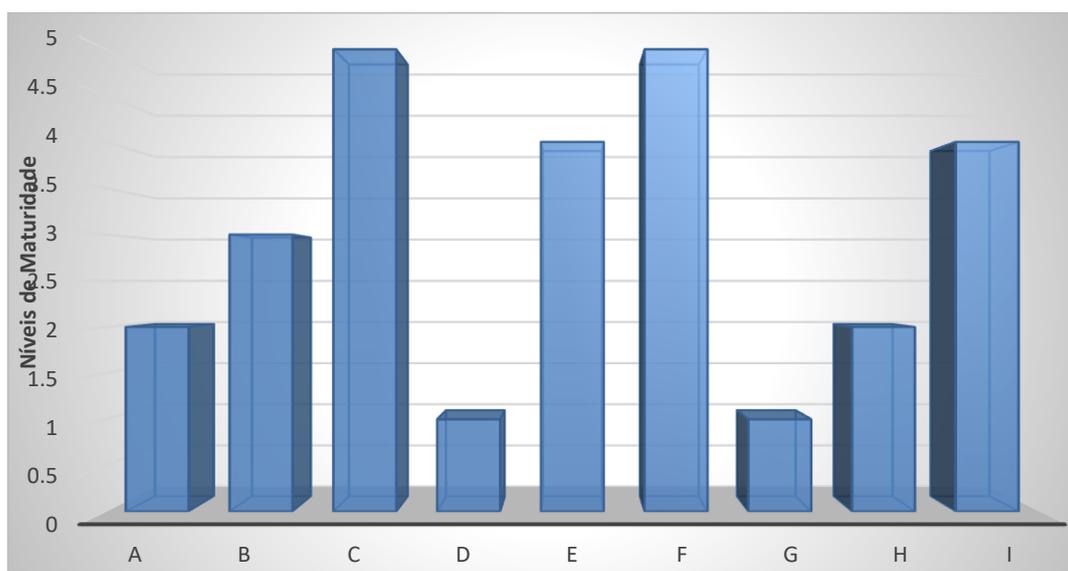


Figura 23 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por empresa

O Resultado geral encontrado de nível 3 (Visibilidade) na pesquisa (Figura 14), indicaria que boa parte das empresas já conseguiram entender os seus dados através de seus sensores, tomando decisões em tempo real, acuradas e inteligentes. O total de 4 empresas (C, E, F e I), alcançou estágio acima da média, conforme a Figura 23, e somente as empresas C e F alcançaram o nível 5. Outro ponto fundamental a ser observado: cinco empresas estão no nível 3 ou abaixo dele, sendo situação mais grave em 2 empresas (D, G) que nem sequer estão no nível 1 (Informatização) e outras 2 empresas (A e H) ainda no nível 2 (Conectividade) representando quase 44 % da pesquisa realizada. Essa situação demonstra uma grande diferença em relação aos níveis de desenvolvimento encontrados na pesquisa e que por mais existam empresas com um estágio bastante avançado na transformação tecnológica, ainda há um longo caminho a percorrer para boa parte delas.

4.2.1 Empresa A

É uma multinacional de origem asiática com presença no mundo inteiro, possui duas filiais no Brasil e atua na fabricação e comércio de produtos ligados à informática como placas para computadores, *Set-Up Box e HD* externos e carregadores para *notebooks*. Essa empresa, apesar do porte (grande), ainda se encontra abaixo do estágio de nível 2, “Conectividade”, conforme o gráfico. Quase todas suas capacidades estão no mesmo nível 2 (Figura 24). Somente a dimensão “Cultura” atingiu o nível 3 (“Visibilidade”). O que pode demonstrar um início de mudanças em seus processos tecnológicos, mas ao mesmo, indica que a empresa ainda não abraçou totalmente a ideia de transpor os níveis básicos de sistemas de comunicação e informação. É preciso que a empresa modifique seus conceitos e busque novas ideias para que consiga realmente ultrapassar os estágios iniciais de desenvolvimento tecnológico e implementar de forma eficiente os conceitos de Indústria 4.0.

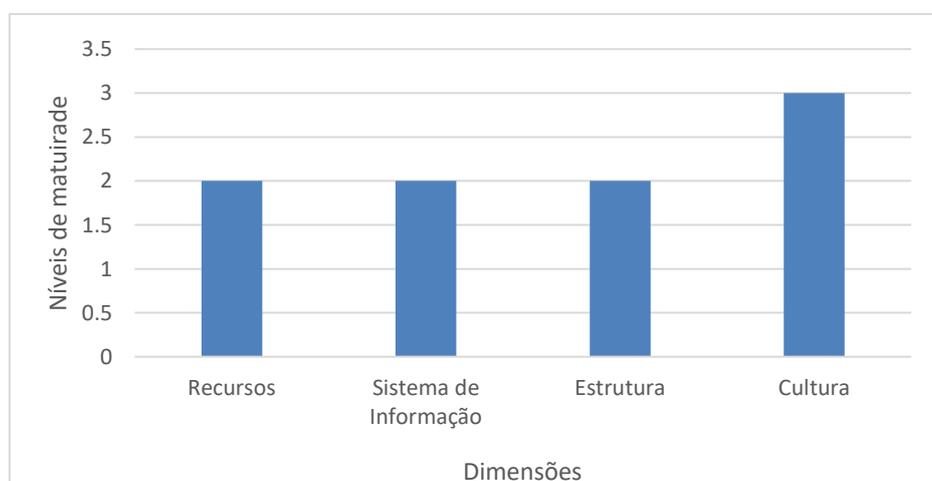


Figura 24 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

4.2.2 Empresa B

É uma empresa de grande porte do setor de eletroeletrônicos que fabrica entre outros produtos ar condicionado, televisor e microcomputador. Tem sua sede no sul do país, com plantas em várias cidades do país. O grau 3 (Visibilidade), conforme o gráfico da Figura 23, encontrado em seu estágio de desenvolvimento nos mostra que a empresa já existe, analisa e interpreta seus dados de forma eficiente. Em relação às suas dimensões (Figura 25), verificamos que a capacidade “Recurso” se encontra no nível 2 - “Conectividade”, o que significa que os seus sistemas de informação já estão em um processo de troca de informação. Em relação aos “Sistemas de Informação”, de acordo os resultados apresentados, indicam que os dados e a comunicação da empresa ainda não estão estruturados para realizar a integração desses sistemas. Na dimensão “Estrutura”, a empresa obteve um melhor desenvolvimento, atingindo o nível 4. Já a dimensão Cultura atingiu o nível similar ao estágio alcançado pela empresa em seu desenvolvimento.

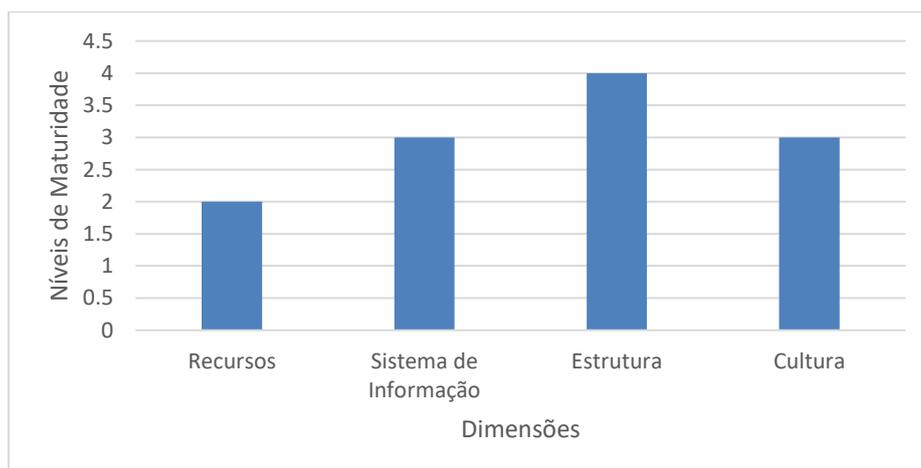


Figura 25 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

4.2.3 Empresa C

É uma empresa multinacional de origem asiática de grande porte do setor eletroeletrônico, com atuação no mundo inteiro. Entre seus produtos fabricados estão: ar condicionado, notebooks, televisões digitais, telefones móveis, monitores, impressoras. A empresa possui tecnologia de ponta em seus processos e produtos, sendo inclusive líder mundial em vários segmentos industriais. Pelo resultado alcançado (Figura 23), demonstra que a empresa já está bastante avançada nos conceitos de Indústria 4.0, faltando pouco para alcançar a digitalização completa de suas operações. O significa que é não somente importante ter uma grande estrutura, mas o fundamental que a alta direção tenha um real interesse em

desenvolvimento em tecnologias que modifique processos e realize uma verdadeira transformação digital. As suas capacidades (Figura 26), inclusive, obtiveram o mesmo estágio de desenvolvimento digital em sua avaliação, o nível 5 (Capacidade preditiva) .

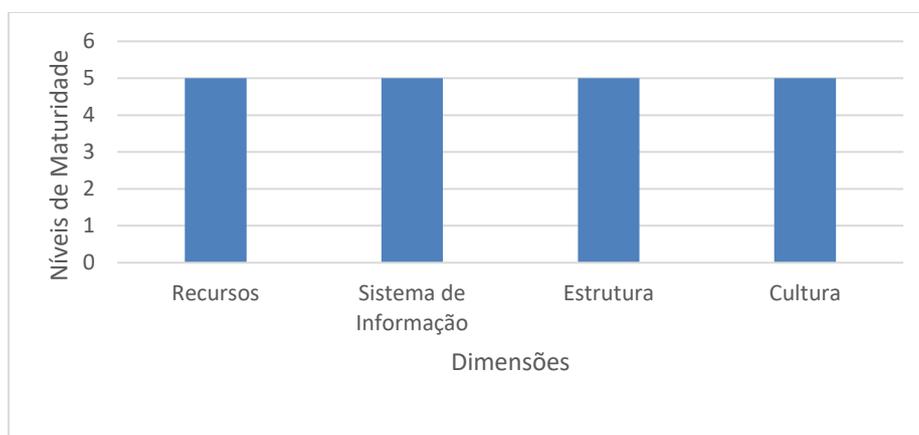


Figura 26 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

4.2.4 Empresa D

É uma empresa de médio porte, multinacional do segmento de duas rodas. Possui 3 plantas no mundo que atuam na fabricação de motocicletas. O resultado apresentado em sua avaliação ainda se encontra no estágio inicial: Informatização. (Figura 23). Inclusive a dimensão “Sistema de Informação sequer atingiu o primeiro estágio” (Figura 27). Aliás, somente a dimensão “Cultura” na sua avaliação conseguiu alcançar o segundo estágio (Conectividade). Além disso, obteve uma das piores notas em relação à avaliação geral da pesquisa.

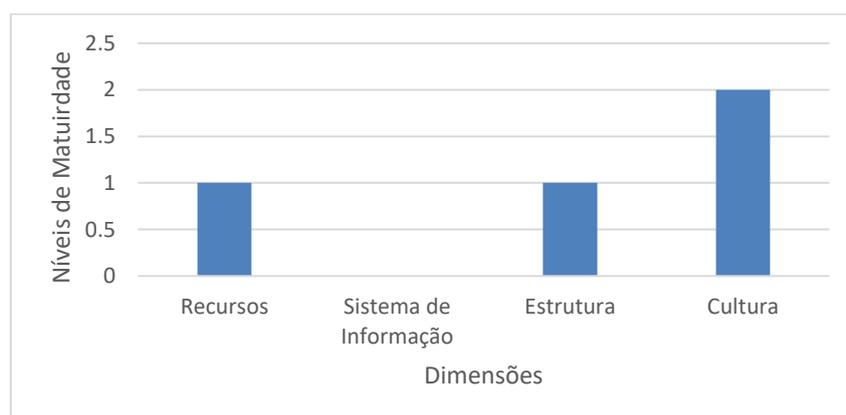


Figura 27 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

4.2.5 Empresa E

É uma empresa nacional de grande porte, com sede no estado, que atua na fabricação de aparelhos de elétricos para de uso pessoal, peças e acessórios. Pelo resultado alcançado, os dados resultantes de

processos industriais já são compreendidos e analisados de forma eficiente (Figura 23). Todas as dimensões avaliadas se encontram no mesmo nível: “Transparência” (Figura 28). A sua avaliação indica que se continuar no mesmo ritmo poderá alcançar a digitação de sua fábrica de forma consistente em um tempo não muito grande.

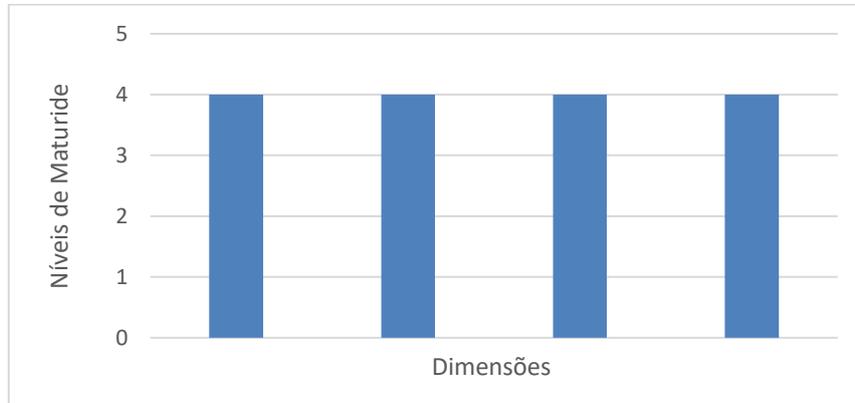


Figura 28 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

4.2.6 Empresa F

É uma empresa asiática de origem europeia do setor eletrônico que desenvolve e fabrica fontes de alimentação para telefones celulares e outros dispositivos eletrônicos. De acordo com o seu nível encontrado na Figura 23, atingiu um dos maiores índices avaliados entre as empresas pesquisadas. Suas capacidades demonstraram um alto índice de crescimento (Figura 29), inclusive a dimensão “Cultura” atingiu nível 6. As outras capacidades apresentaram o mesmo nível de desenvolvimento. Apenas o “Sistema de informação” teve a menor avaliação. Assim mesmo teve um grau de avaliação bastante positivo. É uma empresa com resultados consistentes e com grande possibilidade de atingir o desenvolvimento digital pleno em suas capacidades.

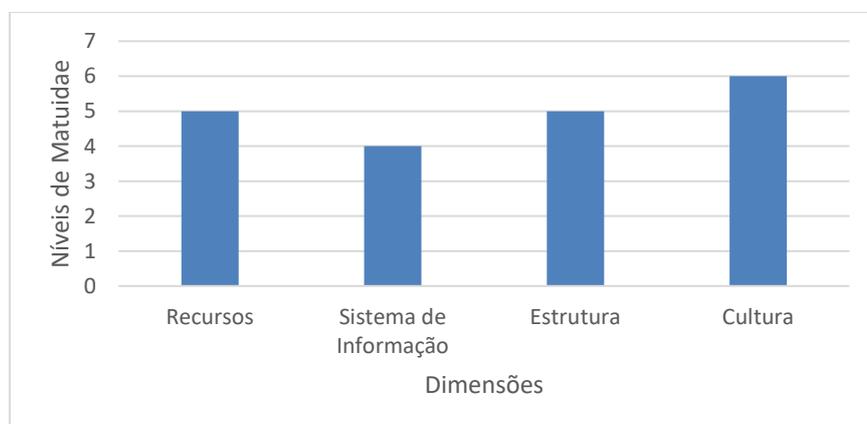


Figura 29 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

4.2.7 Empresa G

É uma empresa de médio porte do setor de duas rodas, com sede no Sudeste do Brasil e fábrica em Manaus, que atua na fabricação de bicicletas. Ainda se encontra no estágio inicial desenvolvimento digital: nível 1 (Conectividade), encontrado no gráfico da Figura 23. No estágio alcançado pela empresa em suas dimensões avaliadas, de acordo com seu gráfico (Figura 30) apresentou o nível 1 em 3 das dimensões das avaliadas. Com um único aspecto "Cultura" atingindo o nível 2. O interesse é notar que o resultado encontrado na empresa se assemelha com o de outras empresas do mesmo segmento. Isso é uma questão ser notado, pois se empresas e outras demais da mesma área se quiserem realmente iniciar um processo de transformação digital para se manterem competitivas, precisam dar o primeiro passo para sair do *status* atual e, principalmente, precisam de um forte comprometimento da alta direção em desenvolver condições para iniciar efetivamente esse processo.

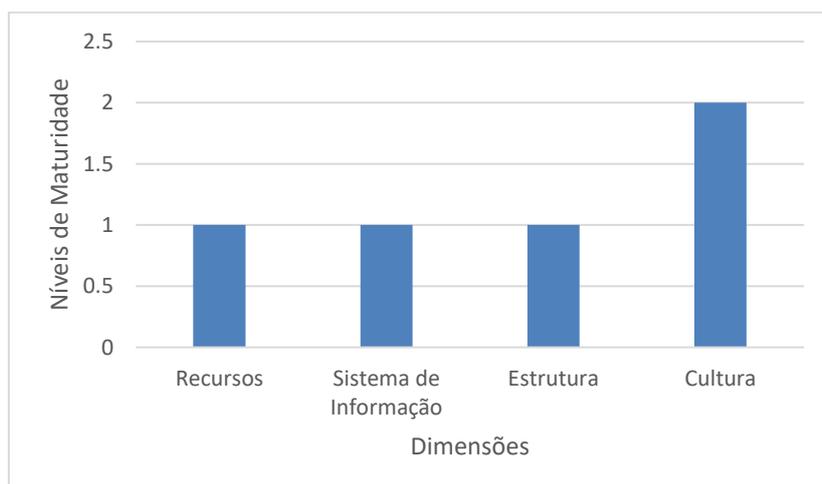


Figura 30 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

4.2.8 Empresa H

Empresa multinacional japonesa de grande porte, do setor de duas rodas. Atua na fabricação de carburadores para veículos e sistema de injeção eletrônica de duas e quatro rodas. Alcançou nível 2 no estágio desenvolvimento digital (Fig. 23). O seu grau de maturidade de suas capacidades (Fig. 31) alcançou um nível um pouco melhor que as outras empresas do mesmo segmento. Porém, como as demais do mesmo segmento, encontra-se praticamente no mesmo patamar de desenvolvimento, indicando o mesmo grau de dificuldade de ultrapassar o estágio inicial de desenvolvimento.

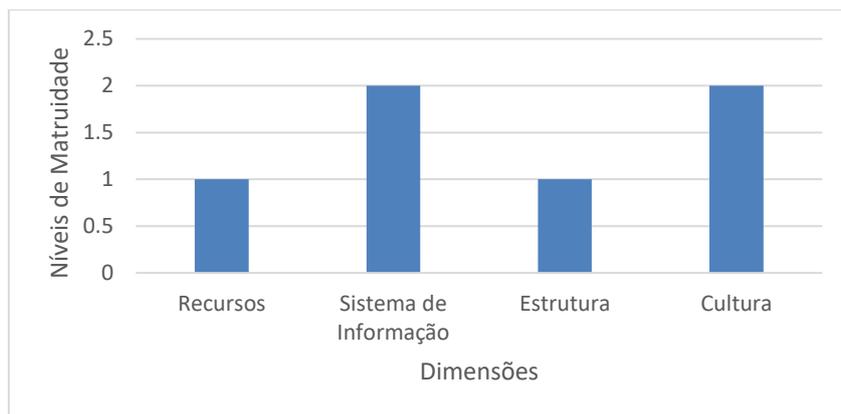


Figura 31 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

4.2.9 Empresa I

Empresa de grande porte nacional do segmento de eletroeletrônica, com sede no sudeste do Brasil e fábrica em Manaus, atua nas áreas de TV, telefonia e internet, acessórios, segurança, casa inteligente e energia solar. Alcançou o nível 4 (Figura 23), com várias com uma de suas capacidades, atingido o nível 5 (Figura 32). No entanto, em relação aos seus 'Recursos', ainda não ultrapassou o estágio de “Conectividade”. É uma empresa que pelo resultado atingido, com uma boa Estrutura e em bom Sistema de informações já consegue fazer os que dados resultados de seus processos baseados em dados se tornem informações confiáveis e proporcionando que as tomadas de decisões sejam rápidas e seguras para a empresa.

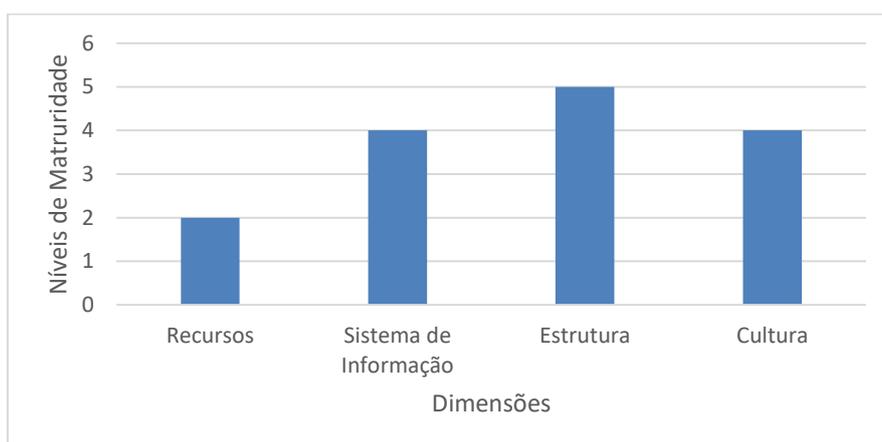


Figura 32 – Gráfico de nível de maturidade alcançado por dimensão

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho alcançou o objetivo geral proposto: desenvolver um instrumento de avaliação de maturidade/prontidão para analisar as empresas do PIM em relação à da Indústria 4.0, identificar os estágios em que cada empresa se encontra, e por último, o que elas devem fazer para alcançar a transformação digital.

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é a reunião de empresas de diversos tamanhos, processos, atividades e tecnologias. O estudo propôs analisar o grau de maturidade em relação a Indústria 4.0 no contexto dessas empresas em suas áreas, principalmente, para geração de conhecimento e análise do estado de seu desenvolvimento tecnológico. Nesse aspecto, o questionário procurou identificar os estágios em relação ao grau de desenvolvimento em relação a maturidade 4.0 de cada empresa, de cada dimensão e, principalmente, em relação ao grau de maturidade do PIM como um todo.

Em relação ao PIM, verificamos a grande dificuldade de efetivamente transpor o passo inicial do processo de transformação digital. Devido à grande dificuldade das empresas de se integrarem vertical e horizontalmente suas cadeias produtivas em relação a capacidade Integração vertical e horizontal em seus processo industriais.

Por outro lado, é importante analisar a forma como as empresas se instalam no PIM. No caso, para uma empresa ter seu projeto aprovado junto a Suframa e poder iniciar suas atividades, é preciso obedecer a certos critérios: Processo Produtivo Básico (PPB), nível de emprego a ser utilizado no processo requerido, investimento em Capital, gastos em Benefícios Sociais e em treinamento de pessoas. Além disso, dependendo do processo, ela tem de investir em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias (P & D). É fundamental compreender que as empresas são periodicamente acompanhadas em relação ao cumprimento dessas contrapartidas. Assim, a empresa para o continuar possuindo esse benefício fiscal tem de atender a essas normas. Isso é uma discussão que pode ser feita. Pois de uma forma ou outra, esse sistema de produção impacta de sobremaneira no desenvolvimento de alta tecnologia de seus processos, principalmente, na flexibilidade de transformação digital de suas cadeias de negócios. É preciso salientar que o Governo Federal já possui iniciativas como a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, que tem o objetivo de integrar as políticas públicas do governo federal em relação à indústria 4.0, conceitos de manufatura avançada e internet das coisas, bem como desenvolvimento tecnológico e inovação nas empresas através do desenvolvimento do capital humano, da cadeias produtivas e de fornecedores; bem como a regulação, normatização técnica; melhoria da infraestrutura e aumento de investimentos em tecnologias digitais.

A Indústria 4.0, no entanto, ainda é um assunto ainda pouco explorado na literatura e com baixa utilização nos processos industriais. Por conseguinte, o número de publicações sobre o tema ainda é baixo se comparado a outros relacionados à engenharia. Isso é um dado relevante, pois os conceitos e tecnologias tratados no estudo são de grande interesse na indústria mundial, e podem a médio e longo prazos transformar drasticamente a competitividade no mundo dos negócios.

Os impactos por essa revolução refletirão no nascimento de novos negócios e de novas profissões. Na qual, as novas tecnologias apoiadas pela evolução de *hardwares* e *softwares* levarão a uma mudança profunda nas cadeias de valor, com o nascimento de novas empresas com tecnologias até mesmo nunca vistas e o fechamento de empresas que ainda continuam na mesma forma de produção tradicional. É fundamental que os governos e as empresas estejam preparadas para as mudanças que irão ocorrer e que possuam ferramentas para avaliar a evolução da maturidade na implementação dos conceitos e das tecnologias da Indústria 4.0.

O modelo de instrumento de avaliação desenvolvido evidencia que a implementação da Indústria 4.0 nas empresas demanda uma visão holística com novas determinações estratégicas, novas competências da força de trabalho, transformação dos modelos de negócios, produtos e serviços com novas funções e personalizados conforme o cliente e a implementação das novas tecnologias habilitadoras.

Este trabalho tem um bom potencial para realização de trabalhos futuros, podendo ser empregado em áreas acadêmicas, científicas e empresariais. Em áreas acadêmicas, sendo um estudo amplo, possibilita a outros trabalhos a análise e conclusões que não foram encontradas neste estudo, de forma qualitativa ou quantitativa. Em relação às científicas pode ser utilizada em publicações de artigos em jornais, revistas e congressos especializados de diversas partes do conhecimento em virtude da universalidade dos conceitos de Indústria 4.0. Quanto a empresarial, é possível sua utilização por indústrias para avaliar internamente seus graus de maturidade e em empresas de consultoria para realização de um diagnóstico da maturidade da Indústria 4.0 de seus clientes.

O modelo elaborado se mostrou útil para avaliar a maturidade atual de uma empresa, ao mesmo tempo que apresentou capacidade de poder auxiliar no planejamento das indústrias para definição da maturidade desejada. Também é esperado que ele apoie as empresas na definição das ações que potencializam os ganhos econômicos da digitalização de produtos e processos, do aumento de sua competitividade e lucratividade proporcionado pelo maior conhecimento dos desejos, identificação das necessidades dos clientes e da maior habilidade de atender as essas demandas, de forma ágil.

Este trabalho possui, como todos os outros, algumas limitações. Na validação do modelo, por exemplo, poderia ter sido realizada com um maior número de profissionais, em empresas de diferentes setores,

portes e diversas experiências profissionais. Em relação ao teste piloto, a situação seria a mesma, pois com um número maior de empresas permitiria um maior número de comparações e análises para ocasionar em um trabalho de pesquisa mais elaborado conceitualmente. Por uma questão de conveniência e as dificuldades ocasionadas pela Pandemia, o teste piloto para a apresentação do modelo, constatação de sua aplicabilidade e adequação de forma e conteúdo, foi realizado junto às mesmas empresas que realizaram a validação do modelo. Além disso, a pesquisa com um todo, devido às situações explicadas anteriormente, ocorreu similarmente. Nota-se também o fato de não ter havido tido considerações nem alterações substanciais em relação ao modelo. O que pode sugerir duas possibilidades: o modelo foi bem desenvolvido e não suscitou melhorias substanciais ou os pesquisados não possuíam um conhecimento amplo em Indústria 4.0.

Ressalta-se novamente o caráter exploratório desta pesquisa. Não se pretende definir se este instrumento será unicamente plausível para a mensuração da maturidade de uma organização para o processo de digitalização para a indústria 4.0. O que pode se considerar que o instrumento aqui apresentado, foi concebido com base em modelos descritos na literatura, pela opinião de especialistas em engenharia de produção e a opinião de profissionais com experiência em indústria. Investigar a maturidade sob outros aspectos ou sob outras realidades de outras empresas e ou outros países pode conduzir a resultados diferentes dos encontrados aqui

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACRITICA.COM (2019). *Metade do PIM não está pronto para a indústria 4.0, evidencia pesquisa*. Acrítica.com. <https://www.acritica.com/channels/dinheiro/news/metade-do-pim-nao-esta-pronto-para-a-industria-4-0>
- Abreu, C. E. M., Gonzaga, D. R. B., Santos, F. J., Oliveira, J. F., Oliveira, Figueiredo, L. M., Nascimento, M. P., Oliveira, P. G., Yoshinaga, S. T. S., Oliveira, T. T., Mata, V. S., & Gonçalves, G. A. S. (2017). Indústria 4.0: Como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 12(2), 49-53. <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2017v12n12p49-53>
- Accenture. (2018). *Indústria X.0 Reinvenção digital da indústria na América do Sul*. Accenture. https://www.accenture.com/t00010101T000000Z_w_/br-pt/_acnmedia/PDF-86/Accenture-Industry-XO-Reinvencao-Digital-Da-Industria-Na-America-Do-Sul-Final.pdf
- African Union Commission. (2020). *Dinâmicas do desenvolvimento em África 2019 alcançar a transformação produtiva: alcançar a transformação produtiva*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/0cc660f7-pt>
- AlgarTech. (2020). *A importância da cibersegurança para empresas na era digital*. AlgarTech. <https://algartech.com/pt/blog/a-importancia-da-ciberseguranca-para-as-empresas-na-era-digital/>
- Altuncan, M. M. (2019). Artificial Intelligence in Maritime Transport within International Legal Framework. T.C. Dokuz Eylul University. https://www.academia.edu/39190626/ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_IN_MARITIME_TRANSPORT_WITHIN_INTERNATIONAL_LEGAL_FRAMEWORK
- Azevedo, A. L. (2000). A emergência da empresa virtual e os requisitos para os sistemas de informação. *Gestão & Produção*, 7(3), 208-225. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2000000300003>
- Azevedo, S., Aglaê, A., & Pitta, R. (2010). *Minicurso: introdução a robótica educacional*. SBPC. <http://www.sbpnet.org.br/livro/62ra/minicursos/mc%20samuel%20azevedo.pdf>
- Bacovis, A. (2018). *O processo produtivo básico da Zona Franca de Manaus como estratégia governamental competitiva: um estudo baseado na teoria das cinco forças de Porter*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UFAM. <http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3568>
- Barateiro, C., & Emerik, R (2019). *Industry 4.0 e o Controle de Processos: desafios para determinar o grau de automação das plantas*. Congresso Rio Automação Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP, Rio de Janeiro, Brasil.
- Basseto, A. L. C. (2019). *Modelo de maturidade para a análise das indústrias no contexto da indústria 4.0*. [Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa]. Repositório Institucional da RIUT. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4335>
- Bigonha, C. (2018). *Panorama setorial da internet: Inteligência artificial em perspectiva. Inteligência Artificial e Ética*. UNESCO. https://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/1/Panorama_outubro_2018_online.pdf
- Brasil. (2015). *Área de Benefícios: Saiba até onde vai a área de abrangência da Suframa*. Gov.br. Ministério da Economia. <https://www.gov.br/suframa/pt-br/zfm/o-que-e-o-projeto-zfm>
- Brasil. Ministério da Economia. SUFRAMA. (2016). *Cartilha de incentivos fiscais: um guia para quem deseja investir na Amazônia*. SUFRAMA. <https://www.gov.br/suframa/pt-br/publicacoes/cartilha.pdf>
- Brehm, M. F., Barros Filho, F. R., & Araújo, C. H. C. (2019). *Por onde começar? Estudo de caso de medição de índice de maturidade "i4.0" em uma indústria de tecnologia eletrônica*. Congresso Internacional de Gestão, Projetos e Liderança - PMI, Curitiba, Brasil. <https://document.onl/documents/por-onde-comear-estudo-de-caso-de-medio-de-ndice-de-indstria-40.html?page=2>
- Canadian Manufacturers & Exporters. (2019). *Industry 4.0 and Canada's digital future in manufacturing*. CM&E. <https://cme-mec.ca/initiatives/industry-4-0-canadas-digital-future-in-manufacturing/>
- Carolis, A., Tavola, G., & Taisch, M. (2017). Gap Analysis on Research and Innovation for Cyber-Physical Systems in Manufacturing. In: Kacprzyk, J. *Studies in Computational Intelligence*. Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-51100-9_6
- Cavalcante, Z. V., & Silva, M. L. S. (2011). *A importância da Revolução Industrial no mundo da Tecnologia*. Encontro Internacional de Produção Científica - EPCC, Maringá, Brasil. https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_veira_cavalcante2.pdf

- Chiavenato, I. (2011). *Teoria Geral da Administração* (8a ed). Campus.
- Coelho, P. M. N. (2016). *Rumo à Indústria 4.0*. [Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra]. Repositório Científico da UC. <http://hdl.handle.net/10316/36992>
- Confederação Nacional das Indústrias. (2016). *Os desafios para Indústria 4.0 no Brasil*. CNI. <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>
- Daudt, G. M., & Willcox, L. D. (2016). Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada. *BNDES Setorial*, 44, 5-45. <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9936>
- Delacharlerie, C. (2017, April 2017). *Industry 4.0: Asia as the factory of the future*. Innovation is Everywhere. <https://www.innovationiseverywhere.com/industry-4-0-asia/>
- Deloitte & Touche Llp México. (2020). *Cuando el destino nos alcance... con la industria 4.0*. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/dnoticias/articles/desarrollo-de-industria-4-0.html#>
- Dias, B. (2017). Ranking dos 14 maiores fabricantes mundiais de Robôs Industriais. ServNews. <https://servnews.com.br/site/ranking-dos-14-maiores-fabricantes-mundiais-de-robos-industriais/#:~:text=Se%20destacam%20entre%20os%20fabricantes,ambas%20com%20300.000%20rob%C3%B4s%20instalados>
- Duarte, J. (2017, October 23). *Modelos de maturidade - 6 modelos utilizados em projetos*. GP4US Project Management Digital Magazine. <https://www.gp4us.com.br/modelos-de-maturidade/>
- ENISA. (2020). *ENISA publica diretrizes sobre segurança na cadeia de suprimentos de IoT*. SegInfo. <https://seginfo.com.br/2020/11/11/seguranca-da-internet-das-coisas-enisa-publica-diretrizes-sobre-seguranca-na-cadeia-de-suprimentos-de-iot/>
- Equipe TOTVS (2022). *Computação em nuvem: Como funciona e quais vantagens?* TOTVS. <https://www.totvs.com/blog/computacao-na-nuvm/>
- Equipe TOTVS. (2019). *O que é Inteligência Artificial? Como funciona, exemplo e aplicações*. TOTVS. <https://www.totvs.com/blog/o-que-e-inteligencia-artificial>
- Farah Júnior, M. F. (2000). A Terceira Revolução Industrial e o Novo Paradigma Produtivo: Algumas Considerações sobre o Desenvolvimento Industrial Brasileiro nos Anos 90. *Revista da FAE*, 3(2), 45-61. <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/501>
- Felch, V., Asdecker, B., & Sucky, E. (2019). *Maturity models in the age of industry 4.0 – Do the available models correspond to the needs of business practice?* Hawaii International Conference on System Sciences - HICSS, Honolulu, Havaí. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2019.620>
- Fenerik, J. A., & Volante, C. R. (2020). A revolução das indústrias, os benefícios da automação e as expectativas do mercado de robótica no Brasil e no mundo. *Revista Interface Tecnológica*, 17(1), 734-745. <https://doi.org/10.31510/infa.v17i1.805>
- Fernández, A., Marcelino, J., & Marques, P. (2011). *Cloud Computing*. INPI.
- Fiesp. (2018). *FIESP identifica os desafios da Indústria 4.0 no Brasil e apresenta propostas*. FIESP. <https://www.fiesp.com.br/noticias/fiesp-identifica-desafios-da-industria-4-0-no-brasil-e-apresenta-propostas/>
- Firjan. (2016). *Panorama da Inovação Indústria 4.0*. FIRJAN.
- Forza, C. (2002). Survey research in operations management: a process-based perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 152-194. <https://doi.org/10.1108/01443570210414310>
- Freitas, H., Oliveira, M., Saccol, A. Z., & Moscarola, J. (2000). O método de pesquisa survey. *Revista de Administração da USP-RAUSP*, 35(3), 105-112. http://www.clam.org.br/bibliotecadigital/uploads/publicacoes/1138_1861_freitashenriquerausp.pdf
- Galaske, N., Arndt, A., Friedrich, H., Bettenhausen, K. D., & Anderl, R. (2018). Workforce management 4.0 - Assessment of human factors readiness towards digital manufacturing. In: Kacprzyk, J. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer. <https://www.springerprofessional.de/en/workforce-management-4-0-assessment-of-human-factors-readiness-t/15812730>
- Galdino, N. (2016). *Big Data: Ferramentas e aplicabilidade*. XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGET, Rio de Janeiro, Brasil. <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/472427.pdf>
- Galvão, M., & Ricarte, I. (2019). Revisão sistemática da literatura: Conceituação, produção e publicação. *Logeion*:

- Filosofia da Informação*, 6(1), 57-73. <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>
- Garcia, P. (2020). *Robôs autônomos*. Pedrogarcia12av1. <https://pedrogarcia12av1.wordpress.com/about/robos-autonomos/>
- Gaspar, I., & Shimoya, A. (2017). *Avaliação da confiabilidade de uma pesquisa utilizando o coeficiente alfa de cronbach*. Simpósio de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Goiás – SIENPRO, Catalão, Brasil. https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/ISAAC_DE_ABREU_GASPAR_2_email.pdf
- Gausmer, J., Dumitrescu, R., Ebbesmeier, P., Fechtelpeper, C., Hobscheidt, D., & Kühn, A. (2016). *On the road to Industry 4.0: Technology Transfer in the SME sector*. Owl Clustermanagement GmbH. https://www.its-owl.com/fileadmin/PDF/Informationsmaterialien/2017-Technology_Transfer_web.pdf
- Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. (2009). *Método de pesquisa*. Editora da UFRGS. <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/52806/000728684.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gervalla, M., & Ternai, K. (2019). The impact of industry 4.0 to the ERP approach. *SEFBIS Journal*, 13, 56-62. https://www.academia.edu/40582232/The_Impact_of_Industry_4_0_to_the_ERP_Approach
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
- Gill, M., & Vanboskirk, S. (2016). *Digital maturity model 4.0. Benchmarks: Digital Transformation Playbook*. Forrester Research. <https://dixital.cec.es/wp-content/uploads/presentations/presentacion06.pdf>
- Governo do Brasil. (2021). *Empresa, Indústria e Comércio – Zona Franca de Manaus*. Governo do Brasil. <https://www.gov.br/pt-br/servicos/solicitar-a-fixacao-ou-alteracao-de-processos-produtivos-basicos-por-empresas-localizadas-no-polo-industrial-de-manaus>
- Gugu (2019). *Will Africa ever be ready for Industry 4.0?* Medium. <https://medium.com/@gugukwelikheswa/will-africa-ever-be-ready-for-industry-4-0-1d2896e92ea3>
- Houchmuth, C. A., Bartodziej, C., & Schwägler, C. (2017). *Industry 4.0: Is your ERP system ready for the digital era?* Deloitte & Touche Llp. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17725.08169>
- Ind40 (2020) Os desafios da indústria 4.0 no Brasil. Ind40. <https://www.industria40.ind.br/artigo/19950-como-a-industria-40-pode-salvar-a-industria-brasileira>
- Instituto de Estudos para Desenvolvimento Industrial. (2020). *Análise Latina entre os riscos e oportunidades da Indústria 4.0 IEDI*. https://iedi.org.br/artigos/top/analise/analise_iedi_2018_industria.html
- Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. (2018). *Políticas para o Desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil*. IEDI. https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180710_politicas_para_o_desenvolvimento_da_industria_4_0_no_brasil.pdf
- Intel It Center (2013). *Guia de Planejamento. Saiba mais sobre Big Data. Medidas que Gerentes de TI Podem Tomar para Avançar com o Software Apache Hadoop*. Intel Corporation. <https://docplayer.com.br/658653-Guia-de-planejamento-saiba-mais-sobre-big-data.html>
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO/ASTM 52900:2015. Additive Manufacturing – General Principles – Terminology*. ISO. <https://www.iso.org/standard/69669.html#:~:text=Additive%20manufacturing%20%E2%80%94%20General%20principles%20%E2%80%94%20Terminology,-This%20standard%20has&text=ISO%2FASTM%2052900%3A2015%20establishes,by%20successive%20addition%20of%20material>
- Jæger B., & Halse, L. (2017). *The IoT technological maturity assessment scorecard: a case study of norwegian manufacturing companies*. International Conference on Advances in Production Management Systems – IFIP, Hamburg, Germany. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6_17
- Jansen, M. (1993). The modern industrial revolution, exit, and the failure of internal control systems. *The Journal of Finance*, 48(3), 831-880. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1540-6261.1993.tb04022.x>
- Kagermann, H., Anderl, R., Gausemeier, J., Schuh, G., & Wahlster, W. (2016). *Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners (acatech STUDY)*. Herbert Utz Verlag. https://www.researchgate.net/publication/315739153_Industrie_40_in_a_Global_Context_Strategies_for_Cooperating_with_International_Partners_acatech_STUDY
- Karabegović, I., & Husak, H. (2018). The fourth industrial revolution and the role of industrial robots: a with focus on China. *Journal of Engineering and Architecture*, 6(1), 67-75. <https://doi.org/10.15640/jea.v6n1a7>

- Kulvatunyou, B. (2019). MESA Manufacturing Operation Management Maturity Assessment Tool. NIST. <https://www.nist.gov/services-resources/software/ mesa-manufacturing-operation-management-maturity-assessment-tool>
- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., & Forstenhäusler, S. (2016). *SIMMI 4.0 - A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0*. Federated Conference on Computer Science and Information Systems – FedCSIS, Gdansk, Poland. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7733413/citations#citations>
- Liao, Y., Loures, E. R., Deschamps, F., Brezinski, G., & Venâncio, A. (2018). The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. *Production*, 28, e20180061. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20180061>
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., & Schröter, M. (2015). *IMPULS - Industrie 4.0 Readiness*. VDMA's IMPULS Foundation. <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 5-55. https://legacy.voteview.com/pdf/Likert_1932.pdf
- Magrani, E. (2018). *A internet das coisas*. FGV Editora.
- Miranda, F. (2012). A Mudança do paradigma econômico, a revolução industrial e a posituação do direito do trabalho. *Revista Eletrônica Direito, Justiça e Cidadania*, 3(1), 1-24. <http://docs.uninove.br/arte/fac/publicacoes/pdf/v3-n1-2012/fer1.pdf>
- Müller, J. M., & Voigt, K. (2018). Sustainable industrial value creation in smes: a comparison between industry 4.0 and made in China 2025. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-green Technology*, 5(5), 659-670. <https://doi.org/10.1007/s40684-018-0056-z>
- NewAfrican. (2018). *Is Africa ready for the march of robots?* New African Magazine. <https://newafricanmagazine.com/16403/>
- Nogueira, L. (2020). *Simulação é a estratégia do futuro em tempos de pandemia*. Ind 4.0. <https://www.industria40.ind.br/artigo/19838-simulacao-e-a-estrategia-do-futuro-em-tempos-de-pandem>
- Nokia. (2019). *Innovation driving Industry 4.0 in Asia Pacific & Japan*. Nokia. <https://www.edenstrategyinstitute.com/wp-content/uploads/2019/03/Nokia-APJ-Innovations-Driving-Industry-4dot0-White-Paper-EN.pdf>
- Oliveira Júnior, L. (2018). *Modelo de maturidade para indústria 4.0 para PME's brasileiras: um estudo de caso em uma indústria de ração animal*. [Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco]. Repositório Institucional da UTFPR. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4067>
- Oliveira, R. R. (2018). *Avaliação de Portabilidade entre fornecedores de teste como serviço na computação em nuvem*. [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo]. Biblioteca Digital da USP. <https://doi.org/10.11606/T.55.2018.tde-16072018-170853>
- Paolini, A., Kollmannsberger, S., & Rank, S. (2019). Additive manufacturing instruction: A review on processes, applications, and digital planning methods. *Additive Manufacturing*, 30, e100894. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100894>
- Paulino, A. (2014). *Fiscal: O que é PPB*. Bseller. <https://bseller.zendesk.com/hc/pt-br/articles/228205248-O-que-%C3%A9-PPB->
- Pederneiras, G. (2019). *Simulação na Indústria 4.0*. Ind 4.0. <https://www.industria40.ind.br/artigo/18130-simulacao-na-industria-40>
- Pöppelbuß, J & Röglinger, M (2011). *What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management*. European Conference on Information Systems – ECIS, Helsinki, Finland. <https://www.researchgate.net/publication/221409904-What-makes-a-useful-maturity-model-A-framework-of-general-design-principles-for-maturity-models-and-its-demonstration-in-business-process-management>
- Praça, F. S. G. (2015). Metodologia da pesquisa científica: organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. *Revista Eletrônica "Diálogos Acadêmicos"*, 8(1), p. 72-87. <http://uniesp.edu.br/sites/biblioteca/revistas/20170627112856.pdf>
- Price Waterhouse Coopers Brasil. (2019). *O futuro da Indústria: Quebrando as barreiras e ampliando as fronteiras*. PWC. <https://www.pwc.com.br/pt/estudos/setores-atividades/futura-industria-17.pdf>
- Randon, G., & Cecconello, G. (2019). Simulação como tecnologia habilitadora da indústria 4.0: uma revisão da

- literatura. *Scientia Cum Industria*, 7(2), 117-125. <https://doi.org/10.18226/23185279.v7iss2p117>
- Report, D. (2020). *Indústria 4.0 pode gerar economia de até R\$73 bilhões para o país*. Ind 4.0. <https://www.industria40.ind.br/noticias/18354-industria-40-pode-gerar-economia-de-ate-r-73-bilhoes-para-o-pais>
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2), 1-11. <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Roland Berger Strategy Consultant. (2019). *Industry 4.0 the new industrial revolution how Europe will succeed*. Think Act. https://www.iberglobal.com/files/Roland_Berger_Industry.pdf
- Rubio, J. E., Roman, R., & Lopez, J. (2019). *Analysis of cybersecurity threats in Industry 4.0: the case of intrusion detection*. University of Malaga. <https://www.critis2017.org/Presentations/OralPres43.pdf>
- Sánchez, A. L. (2017). Current and future trends in data analysis for engineering applications. Obuda University. https://www.academia.edu/33054497/Current_and_Future_Trends_in_Data_Analysis_for_Engineering_Applications
- Santos, F. L. A. (2019). *A estratégia chinesa frente a Indústria 4.0, uma análise comparativa*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba]. Repositório Institucional UFSCar. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13178>
- Santos, R. C. (2018). *Proposta de Modelo de avaliação do modelo de maturidade da Indústria 4.0*. [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra]. Repositório Comum. <http://hdl.handle.net/10400.26/25346>
- Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., & Hompel, M. (2020). *Industry 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation (Acatech Study)*. Herbert Utl Verlag. <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/download-pdf?lang=en>
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Schwab, K. (2016). *A quarta revolução industrial*. Edipro.
- Sedik, T. S. (2018). *Asia's digital revolution*. FINANCE & DEVELOPMENT. <https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2018/09/asia-digital-revolution-sedik>
- Silva, A. M. A. (2018). *Impacto de soluções de Indústria 4.0 no Mercado de Trabalho em Portugal*. [Dissertação de mestrado, Universidade do Porto, Porto.] Repositório Digital U.Porto. https://sigarra.up.pt/fep/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=172928
- Silva, F. L. (2019). *Identificação e análise dos desafios da estratégia indústria 4.0 na perspectiva de fornecedores brasileiros de tecnologia*. [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Bauru]. Repositório Institucional UNESP. <http://hdl.handle.net/11449/190804>
- Silva, H. A., & Novôa, N. F. (2016). Avaliação da aplicação do método survey em artigos sobre internacionalização de PME - the application of the survey method in articles about internationalization of SMES. *Revista Multiverso*, 1(2), 247-258. <http://periodicos.if.ifsudestemg.edu.br/multiverso/article/view/37>
- Silveira, C. B. (2016). *Indústria 4.0: O que é, e como ela vai impactar o mundo*. Citisystems. <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>
- Souza, C. A. (2000). *Sistemas integrados de gestão empresarial: Estudos de casas implantação de sistema ERP*. [Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo]. Biblioteca Digital da USP. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12133/tde-19012002-123639/pt-br.php>
- Tecnicon. (2020). *4 exemplos práticos da da Indústria 4.0 nas fábricas. A indústria está presente nas operações da Bosch, Heineken, Natura e Renault*. TECNICON. <https://www.tecnicon.com.br/blog/476-4-exemplos-praticos-da-adocao-da-Industria-4-0-nas-fabricas>
- Tonelli, F., Demartini, M., Loleo, A., Testa, C. (2016). A novel methodology for manufacturing firms value modeling and mapping to improve operational performance in the industry 4.0 era. *Procedia CIRP* 57: 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.022>
- Torres, H. K. M. L., Camilo, R. D., Ziviani, F., & Parreiras, F. S. (2015). *Dimensões e características dos modelos de maturidade e de mensuração da gestão da inovação: uma revisão sistemática da literatura*. Simpósio Internacional de Gestão de Projeto, Inovação e Sustentabilidade - SINGEP, São Paulo, Brasil. <https://singep.org.br/4singep/resultado/645.pdf>
- Tung, C. M. (2018). Vertical integration for smart manufacturing-The dynamic capability perspective. *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, 4(2), 70-78. <https://doi.org/10.20474/jater-4.2.3>

- Tünkers. (2020). *Os pilares da indústria 4.0*. TÜNKERS. <https://tuenkers.com.br/os-pilares-da-industria-4-0/>
- Velho, S., & Barbalho, S. (2019). *Um observatório latino-americano da indústria 4.0*. Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto, Brasília, Brasil. <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/um-observatorio-latino-americano-da-industria-40-33552>
- Venus Cargo. (2021). *O que manufatura aditiva e qual impacto industrial*. Venus Cargo. <https://blog.venuscargo.com.br/o-que-e-manufatura-aditiva-e-qual-impacto-industrial/>
- Weber, C., Königsberger, J., Kassner, L., & Mitschang, B. (2018). *M2DDM - A maturity model for data-driven manufacturing*. *Procedia CIRP*, 63, 173-178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.309>

ANEXO 1 - TABELA DE RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO

Tabela de resposta das empresas

	A	B	C	D	F	G	H	I	J
Q1	2	4	5	1	6	2	1	2	2
Q2	1	2	5	0	4	4	2	0	2
Q3	2	1	5	0	4	5	1	1	1
Q4	2	5	5	1	4	6	0	2	3
Q5	2	2	6	1	3	5	1	0	3
Q6	1	2	5	0	6	6	0	0	3
Q7	1	2	5	0	4	4	0	2	3
Q8	1	4	5	0	5	4	1	2	3
Q9	3	3	5	1	3	2	0	2	5
Q10	3	3	6	0	4	2	1	2	5
Q11	2	3	5	0	5	2	1	2	4
Q12	2	3	5	1	5	6	0	1	5
Q13	2	3	5	1	4	6	2	3	4
Q14	3	3	5	1	4	6	1	1	5
Q15	3	3	4	2	3	6	0	1	5
Q16	1	4	5	2	3	5	1	1	5
Q17	2	3	5	1	1	4	1	2	5
Q18	2	4	5	0	5	4	2	2	4
Q19	2	5	5	0	4	3	2	1	4
Q20	3	3	5	2	4	6	2	1	4
Q21	3	4	5	2	4	6	2	2	4
Q22	3	4	5	0	4	6	2	2	4
Q23	2	4	5	0	4	6	1	1	4
Q24	3	5	5	2	4	2	2	2	4
Q25	2	5	6	2	4	6	1	2	6
Q26	2	3	6	0	4	2	2	2	4
Q27	2	3	5	2	4	6	2	2	5

ANEXO 2 - QUESTIONÁRIO

Formulário enviado às empresas para auto-avaliação de suas empresas em relação à indústria 4.0.

Recursos

São os recursos físicos, inclusive a força de trabalho (recursos humanos), máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final.

Pergunta 1

O avanço das tecnologias e a velocidade que elas ocorrem, implica em um nova forma de estratégia de sistema informação e comunicação empresarial. Em que estágio sua empresa encontra em relação a promoção da utilização segura e inteligente das tecnologias digitais de informação (competências digitais) para inovação e tomada de decisão ?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 2

Em relação aos recursos tecnológicos de máquinas e equipamentos, ferramentas e produtos, em que estágio sua empresa encontra no desenvolvimento de sistemas ciber-físicos (CPS) para o aprimoramento de componentes mecatrônicos com sistemas incorporados, como sensores, atuadores?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 3

Junto com sensores e atuadores, os sistemas incorporados também são componentes-chaves dos sistemas CPS. Eles formam a ligação entre a camada de comunicação e os componentes eletromecânicos (atuadores). Em que estágio sua empresa se encontra em relação aos sistemas incorporados?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 4

A comunicação empresarial deve possuir documentação rastreável, redundância, disponibilidade de informação aos usuários e ser adequado às necessidades das pessoas ou grupos interessadas. Em que estágio a sua empresa se encontra no acesso a essa forma de informação?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 5

As interfaces eficientes de máquinas e equipamentos aumentam a produtividade dos usuários e, conseqüentemente, diminuem a taxa de erros e uma possível rejeição do sistema. Em que estágio se encontra sua organização em relação às interfaces baseados em tarefa?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 6

A tomada de decisões com base em dados é utilizada para produzir informações e extrair conhecimento para apoiar o funcionário em suas decisões em relação às situações (falhas de máquinas, problemas de qualidade, etc...) que ocorrem no dia a dia da empresas. Isso requer a identificação e análise dessas questões para resolver e prever futuros acontecimento. A empresa deve estar atento a isso e monitorar de forma contínua todo seu processo. Em que estágio a empresa se encontra em relação ao monitoramento automático das informações em seu processo e em suas máquinas ?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Sistemas de Informação

Se refere a manipulação de dados e geração de dados e tem como objetivo preparar, armazenar e fornecer dados e informações que possam ser usados na tomada de decisões em relação a processos, pessoas e funções empresariais.

Pergunta 7

A entrega de informações contextualizadas (classificadas, interpretadas e analisadas) ou de informações relevantes para necessidades específicas de cada empregado, permite uma gestão eficiente de conhecimento na empresa. Em que estágio a empresa se encontra na disponibilidade dessas informações?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 8

As informações fornecidas devem ser continuamente adaptadas às necessidades do destinatário e seu formato adaptado ao uso atual. Além disso, seu conteúdo e apresentação devem ser elaborados em relação à tarefa que está sendo executada e ao nível de habilidade do funcionário. Em que estágio a empresa em relação a maneira que as informações (forma, conteúdo e apresentação) são transmitidas as seus colaboradores?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 9

A análise e entrega de dados em uma organização dependem de uma infraestrutura de TI resiliente que efetua a captura, a transferência e o armazenamento de dados técnicos relevantes de forma eficiente. Para isso acontecer, os requisitos de processamento e garantias de funcionalidade desse sistema de informações deve apoiar de forma estável as tomadas de decisões. Em que estágio de maturidade, os sistemas de informações da empresa se encontram?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 10

Com o nascimento de novas soluções de TI para atender as demandas de negócio, a integração desses sistemas deve proporcionar a otimização processos, a melhoria da experiência dos usuários e a Integração das informação de forma vertical (entre níveis de hierarquia) e horizontalmente (mesmo nível de hierarquia) para que as instruções de produto, trabalho e processo possibilitem ao usuário ou cliente uma melhor experiencia de informação. Em que estágio, a empresa se encontra na integração de diferentes sistemas?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 11

Nas empresa é fundamental garantir que as informações tenham fluxo ágil para haver sempre uma transição rápida entre diferentes de sistemas de informação. Em que estagio á empresa se encontra na aplicação de um padrão de interface (ponto de controle) para conexão dos sistemas de TI em entre si?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 12

Junto com as interfaces de dados, a integração de sistemas de TI também depende de uma qualidade de dados bastante alta. Além disso, os dados de baixa qualidade nos sistemas de TI resultam em dados agregados incorretos e imprecisos. Em que estágio a empresa se encontra em políticas de governanças de dados de alta qualidade para o processamento, gerenciamento e apresentação das informações ?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 13

O aumento da integração dos sistemas de informação é acompanhada pelo risco de ataques criminosos. O dano causado por estes ataques cresce proporcionalmente ao grau da integração de sistemas. Em que estágio, a empresa encontra na implementação de medidas em segurança de TI (Tecnologia de informação) no combate aos ataques cibernéticos?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<hr/>						

Estrutura Organizacional

Se refere à organização de uma empresa (estrutura e processos operacionais) e sua posição dentro da rede de valor. Estabelece normas de colaboração tanto internamente como externamente

Pergunta 14

Um empresa ágil, significa um modelo de organização que é capaz de adaptar seus processos, produtos e serviços através da configuração dinâmica dos seus recursos. Isso significa em termos organizacionais, a realização de trabalho em equipes multifuncionais orientados a um objetivo. Em que estágio de maturidade, a empresa está em relação a criação de equipes de funcionários com conhecimento específicos de diferentes áreas para tratar de temas ou projetos específicos?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 15

Existem dois tipos de decisão: centralizada e descentralizada. A centralizada significa que as tomadas de decisão são feitas em relação as estratégias da empresa. Na descentralizadas, as decisões são tomadas localmente, pois os tomadores de decisão tem melhores informações, devido estarem mais próximos do problema. No entanto, a decisão descentralizada pode não ser a melhor para empresa, mas somente para aquele problema em sim. Em que estágio a empresa se encontra na disponibilidade de informações organizacionais ao seus funcionários ?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 16

Sistemas de metas são fundamentais para dá aos funcionários maior autonomia e foco no principal objetivo da empresa: a criação de valor ao cliente. Em que estágio, a empresa proporciona a seu empregados um sistema de meta que incluem um sistema monetário e e um sistema não monetário (oportunidades de treinamento,perspectivas de desenvolvimento e liberdade individual nas tomadas de decisão) para o desenvolvimento do funcionário?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 17

Processos de desenvolvimento convencionais para projetos, normalmente, são incapazes de lidar com os requisitos vagos ou variáveis encontrados em uma ambiente dinâmico como uma empresa. Em que estágio, a empresa se encontra na aplicação de ferramentas de gerenciamento de projetos?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 18

Para uma estratégia mais eficiente, as empresas devem ter ciência, que somente com número limitado de competências poderá fornecer uma proposta única ao mercado e satisfazer das necessidades do cliente. Em que estágio, a empresa se encontra em relação ao desenvolvimento de competências e a criação de estratégias visando a satisfação do cliente?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 19

As empresas podem adotar competências que agregam valor a sua rede: terceirização de atividades e desenvolvimento de novos produtos em parceria com outras empresas. Em que estágio, a empresa se encontra no desenvolvimento de atividades colaborativas que gerem valor à sua cadeia produtiva?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Cultura

A “cultura” empresarial é um conjunto de valores, hábitos e crenças compartilhado por seus integrantes e que auxilia na tomada de decisão e no direcionamento das ações de cada um deles.

Pergunta 20

Empresas ágeis e que aprendem dão grande importância aos erros. Pois, entendem que os processos de aprendizagem e mudança só podem ocorrer a partir de erros, Além disso, o reconhecimento do erro fornece uma melhor compreensão dos processos da empresa e uma nova forma de descobrir as relações de causa e efeito anteriormente desconhecidas. No entanto, existem certas empresa que enconde erros, e, com isso, inibindo a inovação. Em que estágio a empresa se encontra relação ao reconhecimento dos erros por parte dos funcionários como forma de inovação e aprendizagem?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 21

Em relação as novas tecnologias e suas abordagens, a empresa deve ter uma compreensão abrangente de como funcionam para garantir que sejam integradas em cadeia de valor e gere valor. No entanto, nem sempre, inicialmente, os colaboradores estão dispostos a aceitar as transformações advindas de novas tecnologias e novos conhecimentos. Em que estágio de maturidade se encontram os colaboradores de sua empresa em relação à inovação e novas maneiras fazer as coisas?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 22

Os ciclos de inovação nas empresas de manufatura estão ficando mais curtos. Ou seja, há menos tempo para desenvolver respostas adequadas às mudanças no ambiente de negócios. No entanto, empresas que aprendem, são sempre ágeis em encontrar soluções para aos problemas, porque estão sempre monitorando seus processos. Em que estágio a empresa se encontra no desenvolvimento ou monitoramento de sistemas baseados em dados para aprendizagem e tomada de decisão ?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 23

A digitalização da indústria está transformando drasticamente o conjunto de habilidades exigidos aos funcionários das indústrias, e com isso, exigindo uma demanda crescente por funcionários com polivalência em conhecimento. Em que está estágio a empresa se encontra na formulação programas de treinamento que abordem as competências necessárias às novas tecnologias e ao mesmo tempo que atendem às necessidades dos funcionários de desenvolvimento de conhecimento multidisciplinar?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 24

Um correta resposta a um problema deve tomada o mais rápido possível, pois quanto mais rápida as soluções iniciadas, implementadas e concluídas, maiores serão benefícios a empresa e aqueles afetados por ela. Em que estágio a empresa se encontra, na transferência de decisão ao funcionários para soluções de problema em relação ao seu trabalho ou uma tarefa?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 25

Na ultimas décadas têm ocorrido mudanças drásticas no ambiente empresarial. Tais mudanças devem respondidas o mais rapidamente e ao mesmo tempo de forma adequada. Para alcançar este nível de rapidez e qualidade nas tomadas de decisão, é preciso adotar uma abordagem mais flexível, dando mais liberdades de ação ao seus colaboradores em relação as situações ou problema que ocorrem. Em que estágio a empresa se encontra em relação a um liderança mais democrática?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 26

Para que as empresas respondam rapidamente as situações imprevistas que ocorrem do dia a dia, é preciso que seus funcionários devam ter acesso instantâneo a sistemas de informações apropriados e as informações compartilhadas. Em que estágio a empresa se encontra em relação a sistemas instantâneos de informações e em canais abertos de compartilhamento de informações?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						

Pergunta 27

A aceitação e o uso sistemático da tecnologia da informação e sistemas só podem ser implementados de forma satisfatório se o pessoal afetado for incluído na transformação desde o início e puder participar ativamente na moldagem de processo. Em que estágio a empresa se encontra em relação ac envolvimento dos funcionários nos processos de mudança tecnológica?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>						