

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL VALADÃO PEREIRA

INDÚSTRIA 4.0: IDENTIFICAÇÃO DE SIMILARIDADE ENTRE MODELOS DE
MATURIDADE SELECIONADOS

JANDAIA DOS SUL

2019

GABRIEL VALADÃO PEREIRA

INDUSTRIA 4.0: IDENTIFICAÇÃO DE SIMILARIDADE ENTRE MODELOS DE
MATURIDADE SELECIONADOS

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira

JANDAIA DO SUL

2019

P436i Pereira, Gabriel Valadão
Indústria 4.0: identificação de similaridade entre modelos de maturidade selecionados. / Gabriel Valadão Pereira. – Jandaia do Sul, 2019.
66 f.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira
Trabalho de Conclusão do Curso (graduação) – Universidade Federal do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Graduação em Engenharia de Produção.

1. Quarta revolução industrial. 2. Manufatura avançada. 3. Classificação industrial. 4. Modelo de maturidade. 5. Classificação de maturidade. I. Oliveira, André Luiz Gazoli de. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº

033 GABRIEL VALADÃO PEREIRA/2019/UFPR/R/JA/CCEP

PROCESSO Nº

23075.079917/2019-87

INTERESSADO:

GABRIEL VALADAO PEREIRA

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

Título: INDÚSTRIA 4.0: IDENTIFICAÇÃO DE SIMILARIDADE ENTRE MODELOS DE MATURIDADE SELECIONADOS

Autor(a): GABRIEL VALADÃO PEREIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

André Luiz Gazoli de Oliveira (Orientador)

William Rodrigues dos Santos

Giancarlo Alfonso Lovon Canchumani



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE LUIZ GAZOLI DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2019, às 17:38, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **WILLIAM RODRIGUES DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2019, às 22:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **GIANCARLO ALFONSO LOVON CANCHUMANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2019, às 23:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **2387871** e o código CRC **526B9D3E**.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me abençoado, com saúde, força, sabedoria e determinação, todos os dias ao longo destes anos.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais, Isabel e ao meu pai Valmir, e meu irmão Leonardo por confiarem em mim e me apoiarem e guiarem em todos dos momentos durante minha graduação. Sou eternamente grato por ter vocês sempre ao meu lado!

Agradeço a todos os professores, servidores e funcionários da UFPR, especialmente ao professor André Gazoli, pela confiança, amizade e por me orientar com muita sabedoria, paciência e confiança este trabalho.

Agradeço aos meus amigos que conheci e convivi ao longo destes anos de graduação.

E por fim, o meu agradecimento especial para minhas avós Dalva e Nair, por auxiliarem meus pais durante meus primeiros anos de vida, me educando e ensinando a me tornar a pessoa que sou hoje.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida,
a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita
determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um
dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”
(Ayrton Senna)

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo identificar se há similaridade entre modelos maturidade, que estão voltados a temática da indústria 4.0. A pesquisa é dividida em dois passos, o primeiro visa ênfase na contextualização da indústria 4.0 e entendimento das definições de modelos de maturidade, e o segundo passo, sendo ele o primordial da pesquisa a identificação de similaridade entre quatro modelos maturidade, sendo eles modelos voltados a temática da indústria 4.0. Com o aumento na competitividade industrial amparado pela globalização, na qual elevou o nível de exigência imposta pelo mercado mundial, houve a necessidade do desenvolvimento industrial tecnológico para se qualificar frente ao novo modelo comercial. Assim, modelos de maturidade forma elaborados tendo por serventia identificar o nível de maturidade da indústria, com a serventia no auxílio na tomada de decisão de forma ágil e segura. Por se tratar de modelos de maturidade voltados a temática da indústria 4.0, o trabalho se justifica em verificar se há similaridade entre os modelos maturidade selecionados, uma vez que não há definição concreta da indústria 4.0. A metodologia base, a ser explorada no trabalho é referente a análise documental, sustentada por uma revisão bibliográfica voltada a contextualização da indústria 4.0 e compreensão referente a modelos de maturidade. Dessa forma, a estruturação do trabalho inicialmente apresenta a revisão bibliográfica, e por fim, a realização de uma análise documental de similaridade dentre os quatro modelos de maturidade selecionados, sendo dois modelos desenvolvidos academicamente e outros dois modelos selecionados de empresas de consultoria. Por fim, são apresentadas as considerações da pesquisa, na qual o trabalho identificou em média 81,5% de similaridade entre os modelos de maturidade, porém se limita em constatar que a similaridade encontrada se mantém apenas na análise macro das informações, sem a análise da aplicação prática dos modelos selecionados.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Quarta Revolução Industrial. Manufatura Avançada. Classificação Industrial. Modelo de Maturidade. Classificação de Maturidade.

ABSTRACT

The present work to identify whether there is similarity between maturity models, which are focused on industry 4.0. The research is divided into two steps, the first aims to emphasize the contextualization of industry 4.0 and understanding the definitions of maturity models, and the second step, being the primary research to identify similarity between four maturity models, which are models aimed at industry theme 4.0. With the increase in industrial competitiveness supported by globalization, which raised the level of demand imposed by the world market, there was the need for technological industrial development to qualify against the new business model. Thus, maturity models were elaborated with the purpose of identifying the level of maturity of the industry, with the help of helping in the decision making in an agile and safe way. As these are maturity models focused on the 4.0 industry theme, the work is justified to verify if there is similarity between the selected maturity models, since there is no concrete definition of industry 4.0. The basic methodology to be explored in this paper is documentary analysis, supported by a bibliographic review focused on the contextualization of industry 4.0 and understanding of maturity models. Thus, the structuring of the paper initially presents the bibliographic review, and finally, a documentary analysis of similarity among the four maturity models selected, being two models developed academically and two other models selected from consulting firms. Finally, the research considerations are presented, in which the work identified on average 81.5% of similarity between the maturity models, but it is limited to finding that the similarity found remains only in the macro analysis of the information, without the analysis of the practical application of the selected models.

Keywords: Industry 4.0. Fourth Industrial Revolution. Advanced Manufacturing. Industrial classification. Maturity model. Maturity Rating.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESTRUTURA SEQUENCIAL DO TRABALHO.....	16
FIGURA 2 – AS QUATRO REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS.....	19
FIGURA 3 – INTERCONEXÃO POR MEIO DA INTERNET DAS COISAS.....	21
FIGURA 4 – FLUXO DE SISTEMA CIBERFÍSICO.....	23
FIGURA 5 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	28
FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO INICIANTE DIGITAL.....	41
FIGURA 7 – CLASSIFICAÇÃO INTREGADOR DIGITAL.....	42
FIGURA 8 – CLASSIFICAÇÃO COLABORADOR HORIZONTAL.....	43
FIGURA 9 – CLASSIFICAÇÃO CAMPEÃO DIGITAL	43

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – MODELOS DE MATURIDADE SELECIONADOS	31
QUADRO 2 – MATRIZ DE ANÁLISE DE SIMILARIDADE DOS MODELOS MATURIDADE.....	47
QUADRO 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE MATURIDADE	50
QUADRO 4 – SIMILARIDADES ENTRE AS CATEGORIAS DOS MODELOS DE MATURIDADE.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PONTUAÇÕES DE CADA CATEGORIA	36
TABELA 2 – PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SIMILARIDADES	56

Lista de abreviaturas OU siglas

EUA	– Estados Unidos da América
PIB	– Produto Interno Bruto
TIC	– Tecnologia da Informação e Comunicação
IoT	– <i>Internet of Things</i>
IoS	– <i>Internet of Services</i>
CPS	– <i>Cyber-Physical Systems</i>
CNI	– Confederação Nacional da Indústria
M2M	– <i>Machine to Machine</i>
CAPES	– Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
IBM	– <i>International Business Machines Corporation</i>
SENAI	– <i>Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial</i>
PwC	– <i>PricewaterhouseCoopers</i>
M1	– <i>Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises</i>
M2	– <i>Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector</i>
M3	– <i>Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0</i>
M4	– <i>Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment rity Model</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS.....	18
2.2 INDÚSTRIA 4.0	19
2.2.1 Internet of Things	20
2.2.2 Internet of Services	21
2.2.3 Cyber-Physical Systems.....	22
2.2.4 Smart Factory.....	23
2.3 MODELOS DE MATURIDADE.....	25
3 METODOLOGIA	28
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	28
3.1.1 Procedimento Metodológico	29
4 MODELOS DE MATURIDADES SELECIONADOS	31
4.1 ROADMAPPING TOWARDS INDUSTRIAL DIGITALIZATION BASED ON NA INDUSTRY 4.0 MATURITY MODEL FOR MANUFACTURING ENTERPRISES	32
4.2 DEFINING AND ASSESSING INDUSTRY 4.0 MATURITY LEVELS	35
4.3 AVALIAÇÃO DE MATURIDADE: INDÚSTRIA 4.0	36
4.4 INDUSTRY 4.0 / DIGITAL OPERATIONS SELF ASSESSMENT RITY MODEL.....	39
5 ANÁLISE DE SIMILARIDADE ENTRE OS MODELOS DE MATURIDADE.....	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6.1 PRINCIPAIS RESULTADOS	60
6.2 CONCLUSÃO ACERCA DOS OBJETIVOS	61
6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os primeiros registros de atividades produtiva ocorreram com a produção artesanal, na qual os bens eram confeccionados manualmente pelos artesões que dispunham do seu conhecimento e ferramentas desenvolvidas, muitas vezes por si mesmo. Com o crescente desenvolvimento da sociedade e necessidade do desenvolvimento de um sistema produtivo com a origem da indústria, o cenário industrial passou então por quatro grandes revoluções industriais durante o século XVIII até os dias atuais. A primeira revolução industrial ocorreu no final do século XVIII, a partir das fábricas do setor têxtil que passaram ter a mecanização como importante característica, impulsionando o uso de máquinas a vapor. Com o incremento da mecanização o sistema produtivo sucedeu a manufatura, diminuindo o *takt time* produtivo (PEINALDO e GRAEML, 2007). Caracterizada como a segunda revolução industrial, a metade do século XIX foi marcada pela integralização da eletricidade, uso do petróleo como combustível e da produção em massa. Assim o aprimoramento do sistema produtivo teve forte relevância com a adoção de esteiras nas linhas de produção da Ford, que teve como mentor Henry Ford, e a inclusão da administração científica nas indústrias com a organização e divisão do trabalho, desenvolvida a partir das ideias de Frederick Taylor (BRETTEL *et al.*, 2014). Em meados da década de 1970 a terceira revolução industrial dava seus primeiros passos com a empregabilidade da eletrônica e de tecnologias da informação na indústria, assumindo posição de destaque com a robótica, revolucionando os sistemas produtivos com a automatização de processos produtivos. Isso possibilitou a obtenção de maiores produtividades, proporcionando uma melhor conexão no uso da mão-de-obra e das matérias-primas (KAGERMANN *et al.*, 2011). Assim, os sistemas produtivos foram se alterando ao longo do tempo, compilando novos modelos de produção. O intervalo entre as revoluções nos mostra que o ciclo revolucionário está cada vez mais curto e a busca incessante por novas rotas é mais do que necessária para se posicionar perante a competitivamente no mercado, trata-se de uma luta por sobrevivência. A discussão sobre a quarta revolução industrial, também conhecida como indústria 4.0, surge em 2011, na Alemanha, quando ocorre a primeira sistematização sobre este conceito (ROBLEK *et al.*, 2016). Os conceitos e aplicação da indústria 4.0 ainda está

em constante e amplo desenvolvimento. A transformação esperada no sistema produtivo, se qualifica com a execução de todas as atividades fabris por meios das máquinas em geral, através da comunicação presente entre máquinas e sensores, podendo disponibilizar inúmeras informações que levarão a uma melhor tomada de decisão, auxiliando no aperfeiçoamento e gerenciamento dos sistemas produtivos (SCHWAB, 2016).

Em paralelo ao desenvolvimento industrial, modelos que mensuram o nível de maturidade foram criados, com a finalidade de auxiliar na análise e na identificação de pontos críticos a serem melhorados. Segundo Kohlegger *et al.* (2009), os modelos de maturidade são ferramentas que classificam as capacidades da indústria frente aos elementos analisados e auxiliam na tomada de decisão da seleção de ações apropriadas a fim de desenvolver tais elementos a um melhor estado de maturidade.

O presente trabalho se baseia no entendimento da indústria 4.0 e das definições usuais de modelos de maturidade frente aos conhecimentos geridos pela revisão bibliográfica, afim de trazer um melhor entendimento sobre a temática e em segundo momento, equivalendo o principal deste trabalho, identificar se há similaridade entre os modelos de maturidade selecionados, voltados a temática da indústria 4.0. Sendo quatro modelos, dois presentes na literatura científica e outros dois desenvolvidos por empresas de consultoria. Com base na definição dos modelos, posteriormente são analisados de maneira qualitativa afim de identificar se há similaridade entre eles. Com tudo isso, a pergunta dessa pesquisa é definida da seguinte forma: Os Modelos de Maturidade selecionados, voltados a indústria 4.0, possuem similaridade?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral do trabalho é identificar se há similaridade entre os Modelos de Maturidade selecionados, voltados a temática da indústria 4.0, sendo dois modelos presentes na literatura científica e dois modelos desenvolvidos por empresas de consultoria.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever individualmente os quatro modelos de maturidade selecionados, voltados a temática da indústria 4.0;
- b) Analisar qualitativamente os modelos de maturidade selecionados, afim de identificar se há similaridade entre os modelos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Na Alemanha, em 2011, um grupo formado por políticos, acadêmicos e representantes de diversos setores produtivos definiram concepções da indústria 4.0, a partir das quais prevalecem a ideia de ampliação da competitividade industrial mundial. Concomitantemente, o Governo Federal da Alemanha visando alavancar como líder na área de inovação tecnológica, adotou *a priori* o desenvolvimento do setor de alta tecnologia como integrante de suas iniciativas do projeto “*High-Tech Strategy by 2020 for Germany*”. Em 2013 durante a maior feira voltada à tecnologia industrial ocorrida na cidade de Hannover, o projeto “*Industrie 4.0*” contendo as recomendações iniciais para sua implementação, teve sua primeira apresentação oficial (KAGERMANN *et al.*, 2013). A Alemanha como mentora deste novo ciclo revolucionário, despertou o interesse de diversos países como os EUA, Japão, China e Inglaterra, a fim de conservar suas posições de liderança no desenvolvimento da indústria. Assim, estes países também aderiram práticas similares às desenvolvidas pela Alemanha (DAUDT e WILLCOX, 2016).

Segundo uma pesquisa realizada pela CNI (2016) sobre a indústria 4.0, os impactos esperados com o seu avanço podem afetar o PIB brasileiro em um aumento adicional de US\$ 39 bilhões até 2030, podendo elevar os ganhos em até US\$ 210 bilhões. Outras estimativas registram que até o ano de 2025, as indústrias que absorverem e adotarem os conceitos da indústria 4.0 poderão alcançar benefícios como:

- Redução da manutenção de equipamentos em até 40%;
- Redução do consumo de energia elétrica entre 10% e 20%;
- Aumentar a eficiência produtiva em até 40%;
- Fortalecimento competitivo.

Schumacher *et al.* (2016), recomenda o uso de modelos de maturidade no auxílio ao emprego das novas tecnologias digitais em cada etapa de maturação. Os modelos de maturidade têm por serventia nortear a formulação de ações necessárias para o desenvolvimento industrial ágil e mais assertivo, dando respaldo na segurança para tomada de decisão. A mensuração do grau de maturidade de uma industrial retrata o quanto seus processos estão alinhados com a tendência tecnológica industrial empregada no modelo. Deste modo, os modelos de maturidade tornam-se de significativa importância para o desenvolvimento industrial.

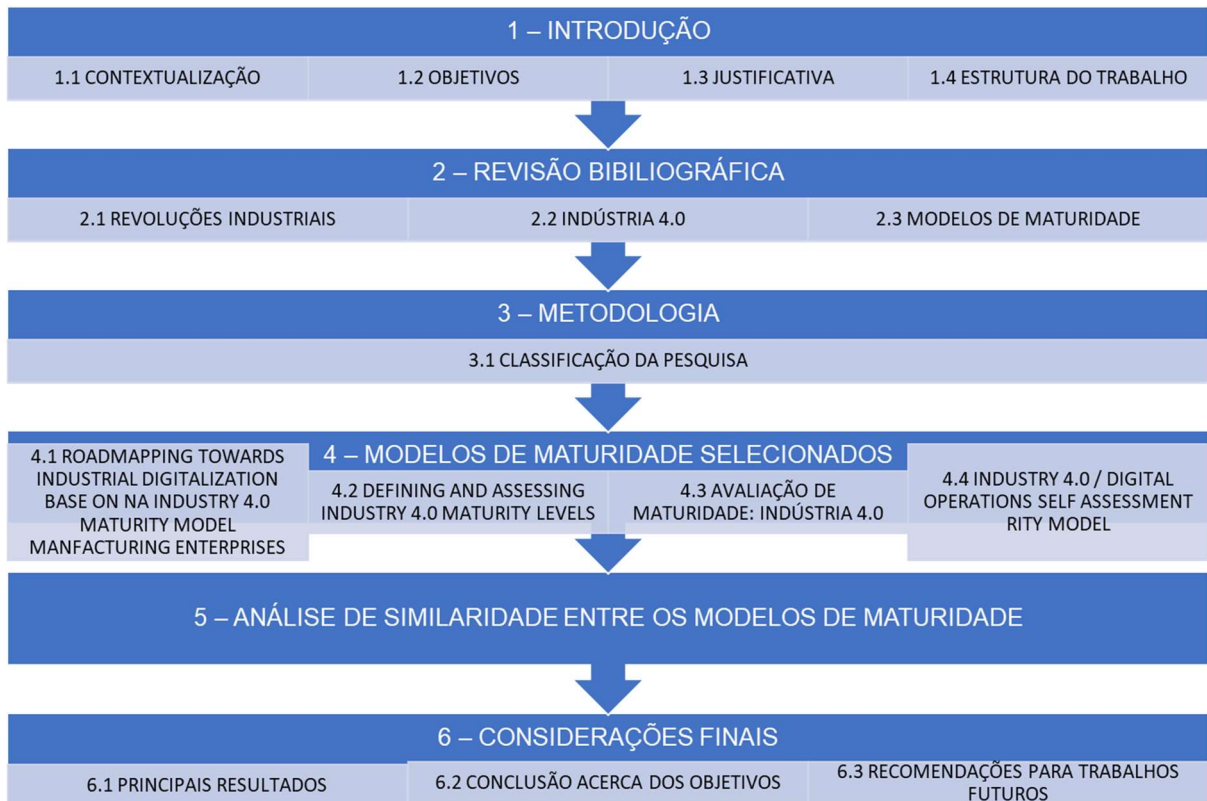
Baseando-se nos três parágrafos acima, a filosofia referente a indústria 4.0 ainda não possui uma conceituação definida, porém modelos de maturidades voltados a temática da indústria 4.0 estão sendo desenvolvidos. Evidenciando estes fatos, o trabalho identificou a necessidade de levantar mais informações a respeito da indústria 4.0, tendo por finalidade um melhor entendimento sobre seus conceitos descritos até o momento. Visto que o trabalho se objetiva em identificar se há similaridade entre os modelos de maturidade analisados, afim de verificar se os modelos seguem a mesma tendência filosófica.

Desta forma a contribuição deste trabalho é fundamental para a formação acadêmica do aluno de engenharia de produção, pois os assuntos explanados, como o conhecimento histórico das revoluções industriais, e do estudo da análise de similaridade dos modelos de maturidade, são temas importantes que retratam o cenário industrial imergido pelo Engenheiro de Produção.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho teve sua estrutura subdividida em seis capítulos, como detalha a figura 1.

FIGURA 1: ESTRUTURA SEQUENCIAL DO TRABALHO



FONTE: O autor (2019)

O capítulo 1 faz referência a Introdução da pesquisa, detalhando a contextualização das quatro revoluções industriais e a problemática da pesquisa, juntamente com os objetivos, justificativa para elaboração da pesquisa e por fim, apresentação da estrutura do trabalho.

Subsequentemente o capítulo 2 apresenta revisão bibliográfica, sendo apresentado primeiramente o histórico das evoluções industriais, posteriormente contextualiza os conceitos até então explanados da indústria 4.0 e no final, detalha o conceito de modelos de maturidade.

Em seguida, o capítulo 3 é composto pela metodologia utilizada para o discernimento da pesquisa, explanando a classificação de natureza, objetivo, abordagem e procedimentos metodológicos.

No capítulo 4, é apresentado os quatro modelos de maturidade selecionados, sendo eles voltados a temática da Indústria 4.0.

O capítulo 5, realiza a análise de similaridades entre os Modelos de Maturidade selecionados no capítulo 4, nesta etapa do projeto ela consiste em desenvolver a pergunta de pesquisa proposta no trabalho.

Por fim, o capítulo 6, é apresentado as considerações finais do trabalho e a recomendação/sugestão da temática para futuro novos trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

A primeira revolução industrial nasceu na Inglaterra, no final do século XVIII. Também conhecida como revolução industrial inglesa ou primeira revolução industrial, esta revolução foi caracterizada pelas primeiras aparições de empresas industriais e da mecanização, com a invenção da máquina a vapor. Em 1776, com a invenção do motor a vapor por James Watt, as fábricas do setor têxtil tiveram suas produções alavancadas, dando origem a produção em série (SCHWAB, 2016). Aos poucos a produção mecanizada foi se espalhando ao longo do Ocidente, mutuando gradualmente a produção artesanal ao ambiente industrial (HOBSBAWM, 2012).

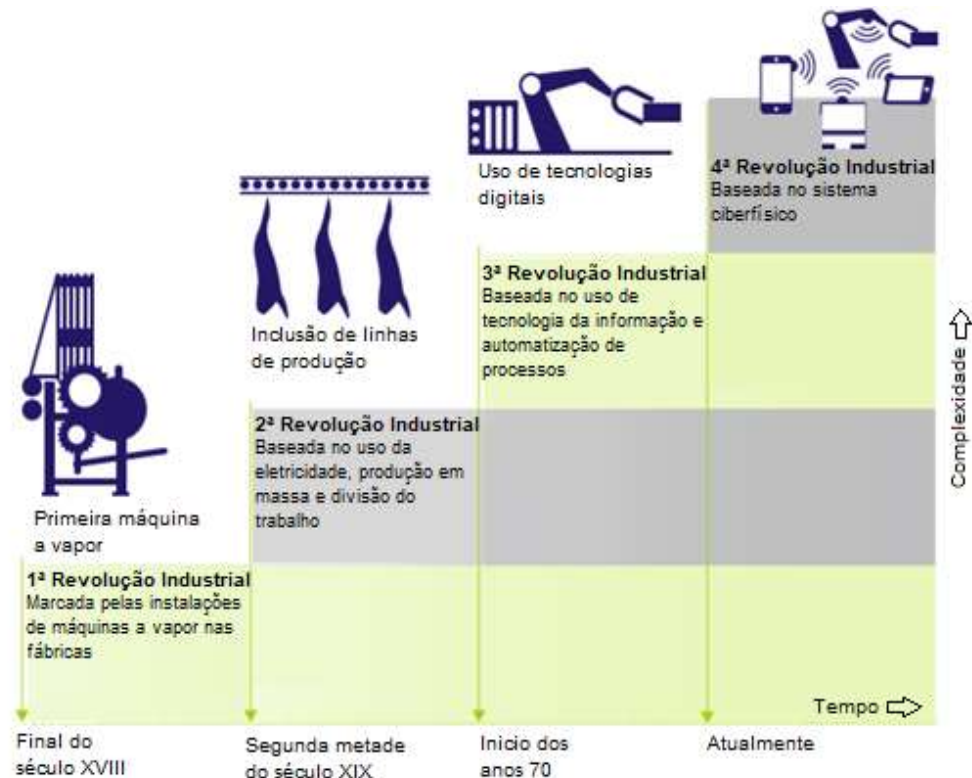
Na metade do século XIX, o desenvolvimento da administração da produção e o uso de novas fontes energéticas, como: a eletricidade, o petróleo, o urânio na produção de energia nuclear, dentre outros, desenvolveu fortemente o panorama industrial. Desencadeando o início da segunda revolução industrial (HOBSBAWM, 2012). Marcada pela transição dos motores a vapores para os elétricos e a utilização na indústria automobilista da Ford, linhas de produção em série, arquitetada por Henry Ford (BRETTEL *et al.*, 2014).

Diferentemente das outras revoluções, a terceira revolução industrial detém sua origem descentralizada, na qual seu início aconteceu nos EUA e em alguns países europeus. Características marcantes desta revolução são a empregabilidade da robótica e de tecnologias da informação nas indústrias, que culminaram ao avanço da engenharia de automação provendo o desenvolvimento de ferramentas sistêmicas altamente eficazes e eficientes, auxiliando no controle e na tomada de decisão de todo sistema produtivo (PEINALDO e GRAEML, 2007).

A quarta revolução industrial teve suas primeiras aparições no ano de 2011, na Alemanha. Ainda em constante desenvolvimento, suas primeiras definições conceituais buscam munir o sistema produtivo com tecnologia da informação e comunicação (TIC), ou seja, modificando a estrutura física para sistemas ciberfísicos, na qual ocorre a junção do mundo virtual e o mundo real (HOZDIC, 2015). As características desta etapa serão abordadas detalhadamente no subcapítulo 2.2.

A figura 2, elaborada por Kagermann *et al.* (2013), demonstra de maneira simplificada as quatro revoluções descritas parcialmente acima:

FIGURA 2: AS QUATRO REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS



FONTE: Adaptado de Kargemann *et al.* (2013)

2.2 INDÚSTRIA 4.0

A quarta revolução industrial também é conhecida como indústria 4.0, nome traduzido do alemão *Industrie 4.0*. Sua primeira aparição ocorreu no ano de 2011, na Alemanha, na qual seu surgimento ocorreu por estratégia do governo alemão, que visava desenvolver um melhor emprego e interação da tecnologia na indústria e, assim, fortalecer-se competitivamente no mercado globalizado. O desenvolvimento das concepções da indústria 4.0 foi pauta no estudo de um grupo formado por políticos, acadêmicos e representantes de diversos setores produtivos (ROBLEK *et al.*, 2016).

O primeiro evento oficial relacionado ao tema ocorreu em abril de 2013 na cidade Hanôver (Alemanha), sendo a maior feira voltada à tecnologia industrial do mundo, na qual o projeto lançado denominado “*Industrie 4.0*” continha as recomendações iniciais para sua implementação (KAGERMANN *et al.*, 2013).

A quarta revolução industrial está desenvolvendo suas características com base nos sistemas tecnológicos contemporâneos, realizando a automação das estruturas produtivas e utilizando sistemas de inteligência para o monitoramento das

atividades e favorecendo, assim, a tendência para o melhor desempenho da indústria (LAURETH, 2014).

O futuro da implementação da indústria 4.0 nas empresas tem por fundamentação o uso da internet como estrutura-base, sendo um novo modelo de gerenciamento no ambiente produtivo e com grande capacidade de desenvolvimento. A inserção da tecnologia da informação dentro dos processos industriais, juntamente com os dados gerados pelos *softwares* gerenciais e de monitoramento, possui um novo modelo de armazenagem, sendo ele em nuvem e podendo ser aplicado na tomada de decisão, em qualquer momento ou lugar desejado (KAGERMANN et al, 2013).

Segundo Hermann *et al.* (2015), a definição empregada à indústria 4.0 passa a ser identificada por quatro componentes primordiais, sendo *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS), *Cyber-Physical Systems* (CPS) e *Smart Factories*. Abordados abaixo de forma individual:

2.2.1 *Internet of Things*

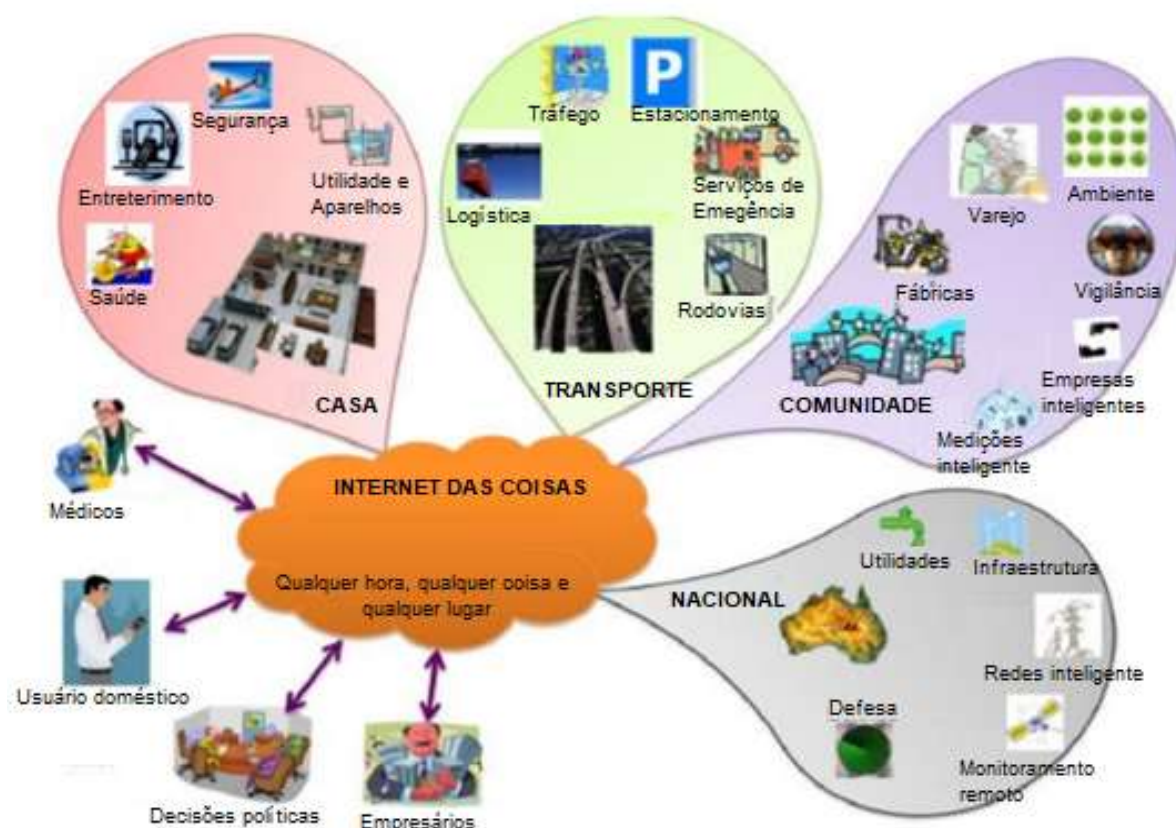
A idealização da interconectividade entre o homem e as máquinas, e também entre máquinas (*Machine to Machine* – M2M). Ficou denominada *Internet of Things*, ou seja, na tradução para o português Internet das Coisas.

Com a tendência gradativa no aumento no número de conexões entre dispositivos junto a rede digital, rede na qual têm por característica a conexão não apenas entre dispositivos, mas também a agregação do homem junto a esta interconectividade. Neste viés, devido a interconectividade digital por meio de redes os dispositivos propendem a encarregar-se da tomada de decisões, descentralizando a atenção e o comando do homem (SANTAELLA *et al.*, 2013).

Conforme demonstrado pela Acatech (2011), os dispositivos como sensores, atuadores e microprocessadores presentes já possuíam certa interatividade via conexão. Com a expansão da internet o leque da troca de informações através da rede e máquinas, conduz a maneira que os sistemas fabris operam, do mundo atual ao mundo ciberfísico. Ou seja, a Internet das coisas é fomentada por uma rede digital conectando diversos positivos que são capazes de transmitir dados em tempo real.

A figura 3, expõe diferentes nichos impactados com a inclusão da conexão em todo sistema.

FIGURA 3: INTERCONEXÃO POR MEIO DA INTERNET DAS COISAS



FONTE: Adaptado de Hozdic (2015)

O desenvolvimento desta tecnologia proporciona que os sistemas sejam capazes de processar e controlar seus nichos produtivos, na qual tenham capacidades de desenvolver determinada inteligência artificial por meio da série de informações trocadas através da conexão ofertada pela IoT. Sendo assim, capazes de promover inúmeros ganhos ao sistema produtivo.

2.2.2 Internet of Services

Seguindo o mesmo conceito que a *Internet of Things* (IoT), a *Internet of Services* (IoS) ou em português denominado Internet dos Serviços, concede aos fornecedores a ofertada de seus serviços por meio da internet (HERMANN *et. al.*, 2015). Ou seja, possibilita a conexão via rede com o consumidor ou solicitante do serviço.

O dinamismo presente nesta interconexão entre o prestador e o solicitante do serviço, traz além do leque de opções, o ganho de velocidade com a comunicação sistêmica entre os componentes internos e externos (KAGERMANN *et. al.*, 2013). Bem como a inovação de produtos tecnológicos podem surgir neste mercado, como retrata

Scheer (2013) com o avanço da tecnologia, algoritmos relacionados aos modelos produtivos deverão ser ofertados de maneira customizada para as fábricas, modificando o pensamento dos tipos de produção utilizados hoje. *Softwares* de gestão da produção serão ofertados por meio IoS, adaptados e modulados com as limitações e capacidades de cada indústria e seu determinado *layout* produtivo.

A IoS é conecta em tempo real a necessidade do serviço com a solução otimizada, onde de um lado se encontra o prestador do serviço e do outro o solicitante. Ocorrendo devido a comunicação feita através dos componentes presentes no sistema virtual fomentado pela IoT.

2.2.3 Cyber-Physical Systems

O termo *Cyber-Physical Systems* (CPS), na tradução para o português se denomina Sistemas Ciberfísicos. Na qual é composto de um sistema híbrido, sendo eles o sistema computacional e o ambiente físico, sendo um sistema integrador destes dois mundos. Capazes por meio da parte computacional, trocar informações, armazenar dados, monitorar processos e controlar toda ação e tomada de decisão do ambiente físico, de maneira segura, com alta performance e velocidade em tempo real (CARDENAS *et. al*, 2008).

Conforme caracterizado por Kargermman (2013), os sistemas Ciberfísicos possuem particularidades que o definem, como mostrado abaixo:

- a. Capacidade de interconexão cibernéticas de todos os componentes;
- b. Redes de conexão interna e externa;
- c. Capacidade de se organizar e reorganizar em tempo real;
- d. Alto grau de automação;
- e. Fluxo de operações e tomadas de decisões confiáveis;
- f. Contínuo aprendizado do sistema através das informações retidas via conexão dos elementos.

Como ilustrado na figura 4, a união destes dois mundos, é realizado através da *Internet of Things* (IoT), tornando possível a conexão via rede mundial de todos os elementos presentes no ambiente, como vemos abaixo:

FIGURA 4: FLUXO DE SISTEMA CIBERFÍSICO



FONTE: Adaptado de Hozdic (2015)

Em suma a composição de um Sistemas Ciberfísicos consiste na adoção de máquinas inteligentes interligadas por sensores e atuadores por meio de uma conexão em rede, sendo capazes de armazenar dados e trocar informações de forma autônoma, provendo melhorias ao sistema produtivo. Por meio do controle e tomada de decisão em tempo real, com base nas informações trocada entre os elementos do sistema (KARGERMANN *et. al.*, 2013).

2.2.4 Smart Factory

Com base nos três pontos exemplificados acima sobre *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS) e *Cyber-Physical Systems* (CPS), são pilares fundamentalistas para conceituação de *Smart Factory*, ou na tradução para o português Fábricas Inteligentes. Termo que sintetiza a junção da conectividade da indústria, tornando capaz de realizar as tomadas de decisões das operações de maneira descentralizada, realizando simultaneamente a troca de informações ao ambiente interno e externo, bem como, a análise e melhoria de por meio dos dados processados (HERMANN *et al.*, 2015).

O modelo de Fábrica Inteligente rompe diversas limitações até então enfrentadas pelos modelos produtivos, devido a conectividade e o alto grau de automatização, onde o controle do processo passa ser independente e descentralizado, juntamente com o processamento dos dados obtidos durante a execução de cada tarefa. Informações que serão moduladas e simuladas em ambientes virtuais desenvolvendo a inteligência artificial dos sistemas (SCHWAB, 2016).

Em síntese os três itens acima explicados, ambos são interligados gerando o funcionamento da inteligência artificial e tornando real a *Smart Factory*. Na qual a quantidade de informações processadas em tempo real busca soluções ótimas, sendo importantes para o aprendizado contínuo dos algoritmos, somando assim as melhorias e corrigindo falhas a todo momento.

Ainda segundo Hermann *et al.* (2015), há seis princípios vitais a serem empregados para realizar a implantação da concepção de Indústria 4.0, sendo eles a adaptação em tempo real da produção, a descentralização, interoperabilidade, a orientação a serviços, sistema modulares e virtualização. Explicados em sequência abaixo:

1. **Adaptação em tempo real da produção:** O autogerenciamento dos sistemas ciberfísicos, são capazes de realizar alterações no fluxo produtivo em tempo real via comunicação entre os componentes, com a finalidade de evitar qualquer atividade prejudicial. Dado ao auxílio das informações processadas instantaneamente durante a execução do processo produtivo;
2. **Descentralização:** Devido a capacidade autônoma de tomada de decisão pelos sistemas ciberfísicos, desenvolvidos através de algoritmo de inteligência artificial, onde os componentes são capazes de gerenciar, monitorar e processar as atividades do *know-how* da fábrica;
3. **Interoperabilidade:** Por meio do desenvolvimento do mundo virtual onde permite a conexão de rede interna e externa de todos os componentes, há uma viabilidade de troca de informações entre o ambiente interno e o externo, fomentando assim

o contato como por exemplo com fornecedores e clientes, por meio de redes sem fio;

4. **Orientação a serviços:** Em consonância com a gigantesca quantidade de dados trocados pelos CPS através da interconectividade expressa pela IoT e IoS, dados estes coletados, ficam armazenados em nuvem, para servir de orientação a todo elo produtivo;
5. **Sistemas modulares:** Sistemas produtivos nos quais se voltam a flexibilidade da produção manufaturada, concedendo sistema produtivo um sequenciamento otimizado para produção customizada em lotes de diversos tamanhos;
6. **Virtualização:** Com a finalidade de ganhos de velocidade no processamento e segurança dos dados, a troca de informação dentre os componentes interligados são armazenados e processados em nuvem. Facultando ao acesso as informações de todo elo produtivo em tempo real.

Dorst (2012) afirma que o conceito da indústria 4.0 possui participação na nossa realidade atual, vindo da união de dois mundos, sendo o real e o virtual. Para CNI (2016, p. 11) a definição da indústria 4.0, é a seguinte:

caracterizada pela integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em rede e da fusão do mundo real com o virtual, criando os chamados sistemas ciberfísicos e viabilizando o emprego da inteligência artificial.

Em suma, com relação ao sistema produtivo a transformação quebra todos os paradigmas até então presenciados, levando o controle e gerenciamento da produção por meio da inteligência artificial aprimorada pelo próprio sistema. Segundo Schwab (2016), a quarta revolução indústria é a metamorfose dos sistemas contemporâneos mediante a base da microeletrônica da revolução digital anterior. Originando uma maior velocidade, segurança, confiabilidade e comunicação no próprio sistema.

2.3 MODELOS DE MATURIDADE

Para Dicio (2019) a terminologia maturidade referência algo ao seu estado atual, com menção ao desenvolvimento. Ou seja, a alusão à maturidade de determinada

indústria sendo esta maturidade voltada a uma temática específica, como exemplo, organização, industrialização, tecnologia, dentre outras temáticas. Compreende-se que há o desenvolvimento da maturidade das indústrias no decorrer tempo, para assim obter em momento futuro a maturidade desejável (SCHUMACHER *et al.*, 2016).

Segundo Kohlegger *et al.* (2009), os modelos de maturidade têm por serventia seu uso como ferramenta de medição de maturidade, cujo objetivo é identificar e classificar as capacidades da indústria sobre determinada temática de análise, a fim de auxiliar na tomada de decisões de ações apropriadas com o propósito de elevar os níveis de amadurecimento da indústria com relação aos pontos abordados. Os modelos de maturidade se constituem de informações referentes a determinada temática com finalidade analítica, na qual sua competência visa transmitir análises e comparações frente a sua área de domínio, e assim traduzir os dados coletados em informações de maturidade referente ao estado da indústria.

Medir os níveis de maturidade de determinada indústria consiste em analisar os eventos reais ponderando-os, afim de direcionar o foco nas elaborações de iniciativas de melhorias. O nível de maturidade presente na indústria retrata sua posição de desenvolvimento perante a temática específica e seus conceitos (ROSEMAN e BRUIN, 2005). Para Wendler (2012) o uso de modelos de maturidade torna possível detectar um conjunto de pontos e suas derivativas condições baseadas em níveis que tem por serventia auxiliar o gestor a alcançar o estado “ideal” em consonância com o estado atual.

Bruin *et al.* (2005) enfatiza a relevância na escolha de um modelo de maturidade a ser aplicado, na qual deve-se levar em conta qual a finalidade de sua aplicação, dado que há três tipos de modelos, sendo eles:

- Modelos de Maturidade Descritivo;
- Modelos de Maturidade Prescritivo;
- Modelos de Maturidade Comparativo.

Descrito por este mesmo autor, os modelos que possuem característica descritiva têm por objetivo apenas descrever em níveis ponderados como se encontra o nível de maturidade da empresa, não propondo melhorias a serem desenvolvidas. Os modelos que são enquadrados como prescritivo, diferentemente do modelo descritivo, apresenta ações de melhorias a fim de identificar um roteiro para o

desenvolvimento das melhorias. E por fim, os modelos comparativos possuem uma característica de análise *benchmarking*, na qual realiza a comparação entre a realidade praticada entre industriais, tendo por finalidade nutrir sua referência de maturidade por meio das ações práticas de distintas indústrias. Os modelos de caráter comparativo são mais complexos de serem aplicados, dado que há a necessidade da aplicação em um grande número de indústria a fim de validar sua análise e atingir um resultado qualitativamente bem embasado.

Os níveis apresentados nos modelos, exigem o estado de maturidade atual da indústria por meio das dimensões conceituais abordadas no modelo referente a determinada temática (WENDLER, 2012). Os modelos de maturidade são voltados a análise das atividades práticas das indústrias, específicas a determinado assunto, sendo estas informações coletadas de diversas formas, entrevistas, formulários, dentre outras. Há presente na literatura diversos modelos de maturidade, específicos a distintas temáticas, no qual seu uso como exposto por Schumacher *et al.* (2016), são recomendados no auxílio ao emprego das novas tecnologias digitais, com menção a indústria 4.0.

Em geral, a maturidade definida pelos modelos determina em qual estado se encontra a indústria, ponto de partida para o desenvolvimento e estruturas de ações para adaptar a indústria em um novo nível de maturidade desejado. Os modelos de maturidade em síntese são ferramentas usuais que se caracterizam por sua temática específica, cujo objetivo é auxiliar o usuário na identificação do nível de maturidade de sua indústria.

3 METODOLOGIA

De acordo com Gil (2002), uma pesquisa é um processo sistemático por meio de uma metodologia específica, na qual realiza-se um processo de averiguação de respostas voltadas à problemática definida inicialmente. Consequentemente, o apropriado planejamento de uma pesquisa, demonstra o nível de qualidade na qual está imergida.

FIGURA 5: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA



FONTE: O autor (2019)

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Gil (2008), a natureza desta pesquisa detém a classificação básica. Segundo este mesmo autor, as pesquisas de natureza básica se objetivam de aumentar o conhecimento sobre a respectiva temática, sendo elaborados cientificamente, pertinentes para o desenvolvimento científico do assunto e sem se voltar a aplicação prática, com a finalidade de levantar conceitos.

O presente objetivo se caracteriza de feito exploratório, por identifica-se da busca científica da singularidade sobre o assunto e assim, tornando a realidade adjacente ao objeto estudado. Para Gil (2002), a pesquisa com objetivo exploratório

fomenta a estruturação de uma base bibliográfica relacionada ao tema, afim de familiarizar o pesquisador através de conhecimentos a respeito do assunto.

Em consonância com a natureza e objetivo apresentado na pesquisa, a abordagem tem cunho qualitativo. A pesquisa qualitativa, não viabiliza o uso de conceitos e procedimentos analíticos numericamente, transferindo seus resultados a uma interface subjetiva, ou seja, não transpõe numericamente o conhecimento gerido (SILVA e MENEZES, 2001). Para Berto e Nakano (1998), a principal precaução desenvolvida pelo pesquisador é o decréscimo entre: conceitos e informações, na qual fomenta a interpretação dos fenômenos por meio da descrição.

3.1.1 *Procedimento Metodológico*

O procedimento metodológico traceja o processamento da pesquisa e seu objetivo. Desse modo, o conjunto técnico científico da metodologia norteia a pesquisa em sua condução (GIL, 2008).

Por se tratar de uma pesquisa que busca contextualizar a Indústria 4.0 e identificar similaridades entre modelos de maturidades, foi necessário o uso de dois procedimentos metodológicos. Sendo a Revisão Bibliográfica, para buscar uma contextualização com caráter científico da Indústria 4.0 e identificação/descrição de dois modelos de maturidade presentes na literatura científica, e de uma análise documental, com a finalidade da descrição a respeito de dois modelos de maturidade desenvolvido por empresas de consultorias.

O desenvolvimento da Revisão Bibliográfica é concebido através do embasamento de materiais já desenvolvidos, como exemplo: publicações, artigos, livros, jornais, periódicos, dentre outros (GIL, 2008). Passo importante para nutrir o pesquisador de conhecimentos desenvolvidos e assim, auxiliar na abertura de uma lacuna ao entendimento ou desenvolvimento de pontos relacionados ao tema. Neste presente trabalho, seu uso buscou contextualizar a indústria 4.0 e de modelos de maturidade, bem como a seleção de dois modelos de maturidade presentes na literatura.

Por outro lado, a análise documental contém características que assemelham a revisão bibliográfica, porém o ponto de dessemelhança é proveniente da natureza das fontes, na qual o material em estudo é oriundo de documentos (CELLARD, 2008). Em vista disto, a análise documental é facultada através da íntegra descrição e

aprendizado ofertado por meio a análise do documento, extraindo do material ponderações, de forma a originar um conteúdo sólido (GIL, 2007). O uso deste procedimento metodológico se volta à seleção e descrição de dois modelos de maturidade, sendo eles elaborados por empresas de consultorias.

4 MODELOS DE MATURIDADES SELECIONADOS

No todo foram selecionados quatro modelos de maturidade, sendo eles voltados a temática da indústria 4.0, a seleção dos modelos pode ser dividida em duas partes sendo elas: modelos de maturidades encontrados na literatura científica e modelos de maturidade desenvolvidos por empresas de consultorias, sendo selecionados dois modelos em cada uma.

Os quatro modelos de maturidade selecionados são apresentados no quadro 1 abaixo:

QUADRO 1: MODELOS DE MATURIDADE SELECIONADOS

Autores / Empresas	Nome do artigo / Modelo
Schumacher <i>et al.</i> (2019)	<i>Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises</i>
Bibby e Dehe (2018)	<i>Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector</i>
SENAI	<i>Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0</i>
PricewaterhouseCoopers (PwC)	<i>Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment Maturity Model</i>

FONTE: O autor (2019)

Os dois primeiros modelos apresentados no quadro 1 são modelos encontrados na literatura científica, estes modelos possuem suas validações práticas, ou seja, são modelos já aplicados em uma situação real e ambos publicados em artigos que foram revisados pelos pares. O modelo do Schumacher *et al.* (2019), se encontra disponível de maneira gratuita na base de dados da ScienceDirect e o modelo desenvolvido por Bibby e Dehe (2018), também se encontra disponível gratuitamente, este por sua vez na base de dados da CAPES.

Os outros dois modelos de maturidade, sendo eles os dois últimos do quadro 1, são modelos desenvolvidos por empresas de consultoria. O modelo do SENAI foi considerado para este trabalho por se tratar de um modelo desenvolvido nacionalmente, diferentemente dos outros modelos selecionados que foram desenvolvidos em outros países. O modelo da PwC selecionado, foi devido a empresa ser uma das dez maiores empresas de consultorias do mundo, segundo a Consultancy.uk (2017).

Em geral foram considerados os modelos de maturidade que apresentavam suas categorias de análise definida, tendo por finalidade a aplicação da análise de similaridade e também que apresentavam em seu critério de saída, os níveis de maturidade, outro ponto importante para realização das análises propostas. Por se tratar de modelos de maturidade voltados especificamente a uma nova temática, sendo ela a indústria 4.0 os modelos selecionados são modelos publicados em suas versões finais após o ano de 2016, devido a considerar modelos com no mínimo cinco anos de maturação referente aos conceitos da indústria 4.0, temática na qual foi inicialmente citada em 2011 (ROBLEK *et al.*, 2016).

Os quatro modelos de maturidades selecionados são detalhados individualmente nos subcapítulos abaixo.

4.1 ROADMAPPING TOWARDS INDUSTRIAL DIGITALIZATION BASED ON NA INDUSTRY 4.0 MATURITY MODEL FOR MANUFACTURING ENTERPRISES

Descrito por Schumacher, A. *et al.* (2019), o modelo de maturidade de maturidade teve seu desenvolvimento a partir de 2015, que inicialmente se baseou em entrevistas, workshops e estudo com mais de 70 modelos de maturidade de diversas áreas, bem como um estudo com mais de 45 trabalhos voltados a temática da indústria 4.0. Ao longo os últimos quatro anos o modelo foi aplicado e avaliado pelos pares, com a finalidade de corrigir falhas e aplicar possíveis melhoras em determinados processos, com base nos *feedbacks* recebidos os autores definiram

A base científica por traz do deste modelo foi desenvolvida a partir da metodologia de design de Henver, onde oferece uma abordagem clara, porém rigorosa devido à fato de buscar os problemas autênticos da realidade sobre determinado assunto.

A aplicação do modelo é composta por um formulário avaliativo composto por oito categorias com sessenta e cinco subcategorias distribuídas, contendo uma pergunta por cada subcategoria sendo respondidas de forma alternativa com quatro exemplos de situações do mundo real e uma alternativa voltada a relevância do item para a empresa. As oito categorias e suas respectivas subcategorias são apresentadas abaixo:

- **Tecnologia** – Tecnologia para troca de informações, Utilização de tecnologia em nuvem, Dispositivos móveis no chão de fábrica, Armazenamento de informação descentralizada, Sensores para coleção de dados, Computadores integrados em máquinas, Computadores integrados em Ferramentas, Fabricação aditiva, e Utilização de robôs;
- **Produtos** – Produto customizado, Flexibilidade das características do produto, Feedback do uso do produto, Componentes de processamento de dados em produtos; Produtos interativos com a internet, Compatibilidade digital e interoperabilidade de produtos e Serviços de Tecnologia da informação relacionados a produtos físicos;
- **Clientes e Parceiros** – Abertura a novas tecnologias, Competência com as modernas Tecnologia da Informação e Comunicação, Digitalização do contato com o cliente, Integração de clientes no desenvolvimento de produtos, Utilização de dados relacionados ao cliente, Colaboração da Tecnologia da Informação para desenvolvimento do produto, Contato digital com fornecedores da empresa e Fornecedores com grau de digitalização;
- **Processo que agregam valor** – Automação dos processos, Autonomia das máquinas, Troca de informações entre as máquinas, Controle remoto das máquinas, Automatização do controle de qualidade, Manutenção de máquinas com base em dados, Automatização na manipulação da linha industrial, Colaboração entre homem e robô;
- **Informação de dados** – Processos de informação digital, Coleta automatizada de dados, Análise de Dados coletados, tomada de decisão baseada em dados, Informação Automatizada de provisão, Individualização da informação fornecida, Processo de visualização digital e Simulação de software orientada por dados de cenários futuros;
- **Corporativo** – Monitoramento da implementação da Indústria 4.0, Padrões tecnológicos; Recrutamento para Indústria 4.0, Ajustes de arranjos de obras,

Treinamentos de funcionários para competências digitais, Proteção legal para produtos e serviços digitais, Maior segurança cibernética e Regras para funcionários em ambiente de trabalho digital;

- **Funcionários** – Abertura a novas tecnologias; Competências com as modernas Tecnologia da Informação e Comunicação; Consciência de funcionários que não detêm conhecimento de Tecnologia da Informação aos dados; Conscientização de funcionários que não são detêm conhecimento junto a Tecnologia da Informação para a cyber segurança; Disponibilidade em flexibilizar os arranjos de trabalho, Autonomia da indústria quanto aos trabalhadores de chão de fábrica; Experiência com trabalho interdisciplinar, Disposição para treinamento contínuo no trabalho, Conhecimento sobre as competências dos funcionários;
- **Estratégia e Liderança** – Roteiro de implementação da Indústria 4.0, Coordenação das atividades da Indústria 4.0, Recursos financeiros para implementação da Indústria 4.0, Comunicação entre as Atividades da Indústria 4.0; Objetivos definidos aos funcionários para realizar a Indústria 4.0, Risco avaliação para Indústria 4.0, Disposição dos gestores para realizar a indústria 4,0 e Treinamentos dos funcionários para Industria 4.0;

Após responder todas as questões, o modelo analisa estatisticamente por meio de um *software* os dados obtidos e ponderados pelo autor, e assim, far-se-á correlação com as informações obtidas com os responsáveis pela empresa, gerando uma classificação entre as categorias analisadas com base nas definições do modelo de maturidade.

Por fim, dada definição do grau de relevância dos itens, as informações de *output* auxiliam para a elaboração do planejamento de implementação da indústria 4.0 especificamente a empresa. O modelo consiste em ponderar gradualmente as oito categorias citadas acima, classificando assim a empresa em seus níveis graduais perante cada categoria.

4.2 DEFINING AND ASSESSING INDUSTRY 4.0 MATURITY LEVELS

O modelo desenvolvido por BIBBY e DEHE (2018), publicado na revista *Production Planning & Control*. Assegura um entendimento contextualizado da indústria 4.0 e investiga o comportamento de outros modelos de maturidades voltados ao desenvolvimento da indústria 4.0. A validação do modelo é referenciado por entrevistas semiestruturadas, workshops e estudos de casos, afim de gerar dado empíricos como saída do modelo.

O modelo aborda de forma de entrada de informações três principais categorias que possuem treze subcategorias, sendo elas elaboradas a partir de um estudo sistêmico da indústria 4.0, apresentadas abaixo:

- **Fábrica do futuro:** Fabricação aditiva, Nuvem, Sistemas de execução de manufatura, Internet das Coisas e Sistemas Ciberfísicos, *Big data*, Sensores, Cadeia de Valor e Robôs autônomos;
- **Pessoas e Cultura:** Abertura a inovação e Capacidade de melhoria contínua.
- **Estratégia:** Investimento tecnológico, Agilidade na visão e Estratégia de Fabricação.

No caso deste artigo a elaboração deste modelo de maturidade foi incumbido a uma empresa para o teste de veracidade.

Após a coleta dos dados baseados nas categorias listas, ocorre o processamento das informações, o modelo de maturidade tem em sua metodologia quatro níveis de maturidade que foram criados para classificar as categorias sistemicamente ponderadas. Os níveis em ordem crescente são: Mínimo, Desenvolvimento, Definido e Excelência. As subcategorias possuem pontuações individuais. A tabela 1 apresenta a importância de cada categoria e suas respectivas representatividades de pontuações:

TABELA 1: PONTUAÇÕES DE CADA CATEGORIA

Categorias	Níveis			
	Mínimo	Desenvolvimento	Definido	Excelência
Fábrica do Futuro	16-32	33-48	49-64	65-80
Pessoas e Cultura	3-6	7-9	10-12	13-15
Estratégia	4-8	9-12	13-16	17-20

FONTE: Adaptado de Bibby e Dehe (2018)

Os níveis de Classificação possuem as seguintes métricas de pontuação:

- **Mínimo:** 23 a 46 pontos;
- **Desenvolvimento:** 47 a 69 pontos;
- **Definido:** 70 a 92 pontos;
- **Excelência:** 93 a 115 pontos.

4.3 AVALIAÇÃO DE MATURIDADE: INDÚSTRIA 4.0

A avaliação de maturidade industrial apresentada neste modelo foi desenvolvida pelo SENAI em conjunto outros dois institutos, sendo eles: Instituto Tecnológico de Aeronáutica e o Instituto Fraunhofer. Tendo por finalidade apontar as necessidades de desenvolvimento da indústria em estudo, afim de simplificar e assegurar um planejamento de orientação na transição digital.

O modelo avaliativo é baseado em outros modelos de maturidade e possui sua disponibilização de forma gratuita no seguinte endereço eletrônico: (<https://maturidade.senai40.com.br/#!/auth/login>). Tem por premissa um teste composto por três categorias, contendo vinte e um perguntas com respostas multiescolhas. São elas:

- **Estratégia de organização**

Nesta categoria o modelo consiste em analisar como se encontra o planejamento, qualificação e engajamento do corpo envolvido na implantação da indústria 4.0 e a devida alocação dos investimentos envolvidos no processo.

1. Como você descreve o status da implementação da sua estratégia de indústria 4.0?
2. Indicadores de implantação da sua estratégia de indústria 4.0
3. Qual é o nível de envolvimento, apoio e conhecimento das lideranças da empresa (direção executiva e gerentes sênior) com relação ao tema Indústria 4.0?
4. Quais áreas da empresa receberam investimentos na implantação de indústria 4.0 nos últimos dois anos?
5. Quais áreas da empresa receberão investimentos na implantação de indústria 4.0 nos próximos 5 anos?
6. Como os dados apoiam o processo de tomada de decisões estratégicas?

- **Manufatura e Cadeia de Suprimentos**

A análise presente na categoria Manufatura e Cadeia de Suprimentos, concebe a identificação do nível tecnológico presente na empresa, dentre as áreas da produção, gestão interna e tomada de decisão, e também como é visto e utilizado as ferramentas da cultura *lean*.

7. Quais técnicas e ferramentas *lean* são aplicadas na empresa?
8. Como você avalia a cultura *lean* dentro da empresa?
9. Qual é o nível de automação dos equipamentos e sistemas produtivos?
10. Como os dados apoiam o processo de tomada de decisão do chão de fábrica e de planejamento de processos?
11. Qual é o nível de utilização das tecnologias abaixo no chão de fábrica?
12. Como você avalia a sua infraestrutura de equipamentos sobre as seguintes funcionalidades

13. Quais dados sobre máquinas, processos, produtos, bem como disfunções e suas causas são coletadas durante a produção, e como são coletados?
14. Como os dados do chão de fábrica são utilizados?
15. O sistema é utilizado? Possui interface com o sistema central da empresa?
16. Colaboração Dinâmica na Cadeia de Valor - A empresa tem relacionamento transparente com seus parceiros de negócio (em especial fornecedores e clientes), com troca de informação automatizada, o que lhe confere previsibilidade de demanda e outras tendências, permitindo tomar direcionamentos de forma mais rápida e eficaz
17. Quais soluções de segurança cibernética são utilizadas na empresa?

- **Modelos de Negócio, Produtos e Serviços**

Na última categoria a análise se volta a compreender como é realizado a coleta de dados, internamente e externamente, bem como seu tratamento para tomadas de decisões. Por fim, qual o nível de adaptação e flexibilidade presente na linha de produção.

18. Como você avalia a utilização de dados para a definição do modelo de negócio de produtos e serviços?
19. Quais das seguintes funcionalidades estão presentes nos seus produtos?
20. Qual é o nível de customização dos produtos?
21. Qual é o nível de colaboração da sua empresa com parceiros, fornecedores e/ou clientes para o desenvolvimento de produtos e serviços?

Posteriormente a realização do teste avaliativo, o modelo correlaciona as informações respondidas aos resultados de outras indústrias do mesmo setor produtivo, presentes no Brasil e dos conceitos da indústria 4.0. Com isto, o resultado final é disponibilizado classificando a empresa em um dos cinco níveis descritos abaixo:

- **Digitalização**

1. **Otimização** – Consiste no aumento da produtividade e em paralelo, a redução de desperdícios. E assim, aumentar a margem de lucro bruto;
2. **Sonorização e conectividade** – A inclusão de sensores para captação de dados em tempo real, servindo como base para as tomadas de decisões;

- **Indústria 4.0**

3. **Visualização e Transparência** – Armazenar os dados obtidos pelos sensores em nuvem, tornando-os visíveis e integraliza-los aos demais indicadores;
4. **Conectividade Preditiva** – Inclusão da *Big data* e tecnologias artificiais, no intuito de gerir teste e prevenir distintos cenários;
5. **Flexibilidade e Adaptabilidade** – Após a imersão de toda tecnologia das fases anteriores, nesta última fase a indústria é capaz responder de forma flexível as adversidades de demandas.

4.4 INDUSTRY 4.0 / DIGITAL OPERATIONS SELF ASSESSMENT RITY MODEL

O modelo de maturidade desenvolvido pela PricewaterhouseCoopers (PwC), denominado *Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment rity Model* foi desenvolvido para compreender como se encontra a indústria em análise perante a Indústria 4.0. O modelo é disponibilizado gratuitamente no endereço eletrônico (<https://i4-0-self-assessment.pwc.nl/i40/interview/>).

A autoavaliação é realizada através de um formulário que se modela conforme as informações de entrada, são elas:

- **Qual o setor imergido a indústria?** Sendo disponíveis um total de dez, são eles: Automobilístico; Energia; Finanças; Saúde; Industria de

Produtos; Fundos Privados; Setor Público; Varejista; Tecnologia; Logística;

- **Qual continente que se encontra a indústria?** Podendo ser escolhido apenas um por vez;
- **Qual o país que se encontra a indústria?** Podendo ser escolhido apenas um por vez;
- **Qual a faixa de receita anual da empresa?** Sendo disponíveis seis faixas, que varia de menos de € 100 milhões até mais que € 3 bilhão.

Após o preenchimento das quatro informações iniciais, o avaliador seleciona as categorias que abordará a avaliação sendo disponíveis seis categorias:

- **Modelos de Negócios, Portfólio de Produtos e Serviços** – Qual o mix de produtos e serviços no portfólio? Quais recursos e serviços digitais são oferecidos? Até que ponto a engenharia está digitalizada?
- **Acesso ao Mercado e ao Cliente** – Quais canais são usados para interação com os clientes? Quais dados atualmente são medidos para compreender os clientes?
- **Cadeias de Processos de Valor** – Até que ponto a fabricação é interligada à engenharia internamente? Como a cadeia de suprimentos é gerenciada? Como as capacidades de fabricação são planejadas?
- **Arquitetura de TI** – Como os processos são suportados pelas tecnologias digitais? Quais são as capacidades técnicas? Como a estrutura de TI suporta os serviços digitais?
- **Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação** – Como é garantida a conformidade e garantida tecnicamente? Como os riscos

legais são tratados? As oportunidades fiscais são realizadas? Como é garantida a confiança cibernética?

- **Organização e Cultura** – Qual a capacidade de mudar da organização? Quais recursos relacionados a indústria 4.0 estão disponíveis na organização?

Sendo obrigatória as três primeiras e opcionais as três últimas. As escolhas das categorias que serão analisadas modelam o questionário da autoavaliação que por sua vez, auxiliando na identificação e classificação do nível de maturidade atual.

Após a realização da autoavaliação as categorias tem por resultado a classificação nos quatro níveis de maturidades explanados abaixo de maneira crescente:

O primeiro nível de classificação é denominado como Iniciante Digital, nesta etapa a indústria inicia seu processo de digitalização. No entanto seu mix de produtos se concentram em produtos físicos e a interconexão dentre os elementos da cadeia ocorrem de formar isoladas. A figura 6 apresenta o primeiro nível de classificação do modelo de maturidade.

FIGURA 6: CLASSIFICAÇÃO INICIANTE DIGITAL

	Eu Iniciante digital	II	III	IV
Modelos de negócios, portfólio de produtos e serviços	Primeiras soluções digitais e aplicações isoladas	Integrador Vertical	Colaborador Horizontal	Campeão Digital
Acesso ao Mercado e ao Cliente	A presença online é separada dos canais offline, foco no produto em vez do foco no cliente			
Cadeias de valor e processos	Digitalizados e automatizados processos sub			
Arquitetura de TI	Arquitetura de TI fragmentada internamente			
Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação	Estruturas tradicionais, digitalização fora de foco			
Organização e Cultura	Foco funcional em "silos"			

FONTE: Adaptado de PricewaterhouseCoopers (2019)

O segundo nível de classificação do modelo de maturidade é conhecido por Integrador Vertical, diferente do primeiro nível a indústria incorporou ao seu mix de produtos e serviços soluções digitais ao seu portfólio. Há certa agregação de valor vertical junto a integração do planejamento dos recursos corporativos e as máquinas do chão de fábrica. A figura 7 expõem a classificação por categoria deste nível:

FIGURA 7: CLASSIFICAÇÃO INTREGADOR DIGITAL

	Eu	II Integrador Vertical	III	IV
Modelos de negócios, portfólio de produtos e serviços ⓘ	Iniciante digital	Portfólio digital de produtos e serviços com software, rede (M2M) e dados como diferenciador chave	Colaborador Horizontal	Campeão Digital
Acesso ao Mercado e ao Cliente ⓘ		Distribuição multicanal com uso integrado de canais online e offline ; Análise de dados implementada, por exemplo, para personalização		
Cadeias de valor e processos ⓘ		Digitalização vertical e integração de processos e fluxos de dados dentro da empresa		
Arquitetura de TI ⓘ		Arquitetura de TI homogênea internamente		
Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação ⓘ		Desafios digitais reconhecidos , mas não abordados de forma abrangente		
Organização e Cultura ⓘ		Colaboração multifuncional , mas não estruturada e realizada de forma consistente		

FONTE: Adaptado de PricewaterhouseCoopers (2019)

Denominado como Colaborador Horizontal o terceiro nível de classificação deste modelo de CNMI, retrata a agregação de valor de forma horizontal juntamente pela colaboração e conexão entres os colaboradores, clientes e fornecedores. No ápice deste nível a organização é capaz de atender por meio de redes as solicitações de seus clientes. Apresentado na figura 8 a classificação deste nível por categoria:

FIGURA 8: CLASSIFICAÇÃO COLABORADOR HORIZONTAL

	Eu	II	III Colaborador Horizontal	IV
Modelos de negócios, portfólio de produtos e serviços ⓘ	Iniciante digital	Integrador Vertical	Soluções integradas para os clientes além das fronteiras da cadeia de suprimentos, colaboração com parceiros externos	Campeão Digital
Acesso ao Mercado e ao Cliente ⓘ			Abordagem individualizada do cliente e interação com parceiros da cadeia de valor	
Cadeias de valor e processos ⓘ			Integração horizontal de processos e fluxos de dados com clientes e parceiros externos, uso intensivo de dados	
Arquitetura de TI ⓘ			Arquiteturas de TI comuns na rede de parceiros	
Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação ⓘ			Risco legal tratado de forma consistente com parceiros de colaboração	
Organização e Cultura ⓘ			Colaboração além das fronteiras da empresa, cultura e incentivo ao compartilhamento	

FONTE: Adaptado de PricewaterhouseCoopers (2019)

O último nível de classificação, é denominado Campeão Digital com a integração vertical e horizontal desenvolvida de forma eficaz. O foco deste nível é desenvolver novos modelos estratégicos embasados em dados obtidos durante a execução das operações. Com um caráter inovador se concentra os esforços deste nível, como apresenta a figura 9:

FIGURA 9: CLASSIFICAÇÃO CAMPEÃO DIGITAL

	Eu	II	III	IV Campeão Digital
Modelos de negócios, portfólio de produtos e serviços ⓘ	Iniciante digital	Integrador Vertical	Colaborador Horizontal	Desenvolvimento de novos modelos de negócios disruptivos com portfólio inovador de produtos e serviços, tamanho do lote 1
Acesso ao Mercado e ao Cliente ⓘ				Gerenciamento integrado da jornada do cliente em todos os canais de marketing e vendas digitais com empatia do cliente e CRM
Cadeias de valor e processos ⓘ				Ecosistema de parceiros totalmente integrado com processos virtualizados auto-otimizados, autonomia descentralizada
Arquitetura de TI ⓘ				Barramento de serviço para parceiros, troca segura de dados
Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação ⓘ				Otimizando a rede da cadeia de valor para questões legais, de conformidade, segurança e tributação
Organização e Cultura ⓘ				Colaboração como um fator-chave

FONTE: Adaptado de PricewaterhouseCoopers (2019)

As ponderações refletidas na classificação do nível de maturidade apresentada neste modelo são embasadas em um estudo minucioso das revoluções

industriais e do portfólio das indústrias de diversos setores ao redor do mundo, e claramente dos conceitos da indústria 4.0. Auxiliando assim para resultados e avaliações voltados a realidade imergida em cada setor.

5 ANÁLISE DE SIMILARIDADE ENTRE OS MODELOS DE MATURIDADE

Pesquisas qualitativas que investigam a similaridade entre modelos de maturidade já foram realizadas anteriormente por diversos autores em diversos segmentos de modelos de maturidade, no entanto esta pesquisa se especifica em identificar se há similaridade entre modelos de maturidade selecionados, voltados aos conceitos da indústria 4.0.

Tendo como diferencial a seleção de quatro modelos maturidade sendo dois presentes na literatura e os outros dois selecionados por empresas de consultoria, um pertencendo ao SENAI (modelo desenvolvido nacionalmente) e o outro pela PwC – PricewaterhouseCoopers, uma das dez maiores empresas de consultoria do mundo. As empresas/autores e seus respectivos documentos são: Schumacher *et al.* (2019) / *Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises*; Bibby e Dehe (2018) / *Defining and assessing industry 4.0 maturity levels*; PricewaterhouseCoopers (PwC) - *Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment rity Model*; SENAI - Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0.

A matriz para identificar qualitativamente a similaridade entre os modelos de maturidade selecionados foi elaborada por meio das pesquisas efetuadas por Khoshgoftar e Osman (2009), Rabechini (2005) e Proença e Borbinha (2016). Com base nas pesquisas listadas acima a matriz proposta é constituída dos dez seguintes critérios:

- Base de conhecimento – Quais bases de conhecimento estão presentes no modelo?
- Aplicação do Modelo – Como é realizado a aplicação do modelo?
- Metodologia de Análise – Como é realizado a análise dos dados pelo modelo?
- Escopo do Modelo – Qual área de domínio do modelo?
- Classificação de avaliação – Como é calcula a maturidade?
- Categorias de Avaliação – Quais variáveis são compostas no modelo?
- Utilização – Com menção a utilização do modelo se é simples, média ou complexa?
- Identifica forças e fraquezas – Sim ou não?

- Considera Cultura Organizacional – Se o modelo se preocupa com o homem perante a temática?
- Sugere Alternativas de Melhorias – Sim ou não?

Os critérios listados acima foram elaborados com base em quatro pontos, sendo eles: base do modelo, entrada, processamento e saída. No ponto base do modelo os critérios são: Base de conhecimento e Escopo do modelo, visa identificar como é realizada a estruturação de cada modelo, por meio de sua área de domínio e conceitos adotados. O ponto denominado entrada é composto pelos critérios: Aplicação do modelo e Utilização, na qual tem por objetivo verificar como é realizado a entrada de informações no modelo e sua devida complexidade de utilização, sendo elas informações referentes ao *input*. No terceiro ponto intitulado processamento formado pelos critérios: Categorias de Avaliação, Considera Cultura Organizacional e Metodologia de Análise, que por sua vez se volta a analisar quais são os pontos com que faz menção a temática presente nos modelos e verificar como é realizado a análise dos dados imputados, ou seja, quais informações são processadas e como são processadas. E por fim, o último ponto denominado saída composto pelos critérios: Identifica Forças e Fraquezas, Classificação de Avaliação e Sugere Alternativas de Melhoria, na qual se objetiva em explorar as informações geridas pelo modelo, sendo elas informações voltadas a análise com relação a tratativa da classificação da maturidade, junto a identificação de forças e fraquezas e da limitação final do modelo, com relação a sugerir alternativas de desenvolvimento ou apenas descrever dentro níveis de maturidade.

O quadro 2 retrata a matriz de análise de similaridade entre os modelos de maturidade selecionados e seus respectivos critérios:

QUADRO 2: MATRIZ DE ANÁLISE DE SIMILIARIDADE DOS MODELOS MATURIDADE

		Artigo / Modelo			
		Schumacher <i>et. al</i> (2019) - Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises	Bibby e Dehe (2018) - Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector	SENAI - Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0	PwC - Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment rity Model
Matriz	Base de Conhecimento	Conceitos da Indústria 4.0	Conceitos da Indústria 4.0	Conceitos da Indústria 4.0 e estado digital do mercado brasileiro	Conceitos da Indústria 4.0 e estado digital do mercado global
	Aplicação do Modelo	Formulário	Formulário	Formulário	Formulário
	Metodologia de Análise	Software Computacional	Software Computacional	Software Computacional	Software Computacional
	Escopo do Modelo	Maturidade Digital	Maturidade Digital	Maturidade Digital	Maturidade Digital
	Classificação de Avaliação	Ponderações dentre as categorias avaliadas	Níveis (1-4)	Níveis (1-5)	Níveis (1-4)
	Categorias de Avaliação	Tecnologia; Produtos; Clientes e Parceiros; Processos que agregam valor; Informações de dados; Corporativo; Funcionários; Estratégia e Liderança	Fábrica do Futuro, Pessoas e Cultura; Estratégia	Estratégia de Organização; Manufatura e Cadeia de Suprimentos; Modelos de Negócios; Produtos e Serviços	Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços; Acesso ao Mercado e ao Cliente; Cadeias de Processos de Valor; Arquitetura de TI; Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação; Organização e Cultura
	Utilização	Médio	Não informado	Simples	Simples

	Identifica Forças e Fraquezas	Sim	Não	Não	Não
	Considera Cultura Organizacional	Sim	Sim	Parcialmente	Sim
	Sugere Alternativas de Melhorias	Não	Não	Não	Não

FONTE: O autor (2019)

Perante a quadro 2 nota-se alguns pontos que claramente os modelos de maturidade convergem para certa similaridade e outros pontos possuem a necessidade de uma análise mais profunda para identificação de possíveis similaridades. A seguir são apresentados os dez itens definidos para identificação das similaridades entre os modelos de maturidades selecionados.

O primeiro item expõe as bases de conhecimento utilizadas em cada um dos modelos. Nos quatro modelos é possível identificar que os conceitos da indústria 4.0 são presentes entre eles, porém os modelos de maturidade desenvolvidos pela PwC e pelo SENAI detêm além dos conceitos da indústria 4.0 conhecimentos com relação ao desenvolvimento digital das indústrias de cada setor. Sendo o modelo PwC com um embasamento de nível global e o SENAI com nível nacional restrito ao mercado industrial brasileiro.

Tanto a aplicação do modelo como a metodologia de análise seguem a mesma simetria nos modelos abordados, onde a aplicação é realizada através de formulários de múltipla escolha que são correlacionados e processados por meio de *software* computacional. Sistemas de análises que nos quais se baseiam nas bases de conhecimentos identificadas no parágrafo acima.

O quarto item da matriz denominado Escopo do Modelo, conversa diretamente com as diretrizes trazidas no projeto, sendo elas ligadas diretamente aos pontos da indústria 4.0, temática na qual especifica dos modelos, no entanto é notório a similaridade entre todos os modelos no tocante ao item. Com referência ao critério de classificação de avaliação, sendo ele um dos pontos de saída dos modelos há necessita de uma análise mais profunda afim de realizar sua devida identificação. O quinto item denominado Classificação de Avaliação se volta a identificar as características de cada um dos modelos, com referência aos níveis e categorias de classificação de maturidade. Em demérito disto foi elaborado o quadro 3, para melhor entendimento sobre seus pontos:

QUADRO 3: CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE MATURIDADE

Artigo/Modelo	Nível				
	1	2	3	4	5
SENAI - Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0	Otimização	Sonorização e Conectividade	Visualização e Transparência	Conectividade Preditiva	Flexibilidade e Adaptabilidade
PwC - Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment rity Model	Iniciante Digital	Integrador Vertical	Colaborador Horizontal	Campeão Digital	
Bibby e Dehe (2018) - Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector	Mínimo	Desenvolvimento	Definido	Excelência	

Artigo	Categorias							
	Tecnologia	Produtos	Clientes e Parceiros	Processos que agregam valor	Informações de dados	Corporativo	Funcionários	Estratégia e Liderança
Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises								

FONTE: O autor (2019)

Há dois tipos de classificação entre os quatro modelos de maturidade, sendo três classificados em níveis como mostra o quadro 3 e um com os graus de ponderações em cada uma das categorias avaliadas no modelo. No mais, as classificações em níveis dos modelos do SENAI, PwC, e BIBBY e DEHE são baseadas no resultado advindos das categorias analisadas, alterando apenas a forma visual de compreender o resultado. No entanto o modelo da PwC e do SENAI apresentam em sua classificação um formato mais literal em cada um dos níveis, enquanto o modelo de BIBBY e DEHE e o do Shumacher, apresentam apenas o grau de ponderação contra o referencial. Motivo pela qual os modelos da PwC e do SENAI são modelos comerciais, necessitando de uma interatividade mais clara com o usuário.

Outro item que possui a necessidade de uma análise mais profunda é com referência ao sexto item que faz menção as categorias de avaliação. Ponto importante para análise é identificar entre as categorias se há similaridade, apesar dos modelos serem construídos com quantidade e nomes de categorias diferentes uns dos outros, podem ou não haver similaridade entre os pontos tratados em cada categoria. Com isto a quadro 4 busca identificar as ligações de cada categoria entre os modelos, juntamente com o auxílio das subcategorias para delinear e explicar se há ou não similaridade neste item entre os modelos de maturidade.

QUADRO 4: SIMILARIDADES ENTRE AS CATEGORIAS DOS MODELOS DE MATURIDADE

Categoria	Artigo/Modelo			
	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises	Bibby e Dehe (2018) - Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector	SENAI - Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0	PwC - Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment rity Model
Tecnologia	Tecnologia	Fábrica do Futuro	Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Arquitetura de TI
Produtos	Produtos		Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços	Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços
Clientes e Parceiros	Clientes e Parceiros	Fábrica do Futuro	Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços	Acesso ao Mercado e ao Cliente
Processos que agregam valor	Processos que agregam valor	Fábrica do Futuro	Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Cadeias de Processos de Valor
Informações de dados	Informações de dados	Fábrica do Futuro	Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Arquitetura de TI
Corporativo	Corporativo	Fábrica do Futuro	Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação
Funcionários	Funcionários	Pessoas e Cultura	Estratégia de Organização	Organização e Cultura
Estratégia e Liderança	Estratégia e Liderança	Fábrica do Futuro	Estratégia de Organização	Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços
Fábrica do Futuro	Tecnologia; Processos que agregam valor; Informações de Dados; Cliente e Parceiros; Corporativo	Fábrica do Futuro	Manufatura e Cadeia de Suprimentos; Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços	Acesso ao Mercado e ao Cliente; Cadeias de Processos de Valor; Arquitetura de TI
Pessoas e Cultura	Funcionários	Pessoas e Cultura	Estratégia de Organização	Organização e Cultura

Estratégia	Estratégia e Liderança	Estratégia	Estratégia de Organização	Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços
Estratégia de Organização	Estratégia e Liderança; Funcionários	Estratégia; Pessoas e Cultura	Estratégia de Organização	Organização e Cultura
Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Corporativo; Informações de dados; Processos que agregam valor; Tecnologia	Fábrica do Futuro	Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação
Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços	Clientes e Parceiros; Produtos	Fábrica do Futuro	Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços	Arquitetura de TI; Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação
Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços	Produtos; Estratégia e Liderança	Estratégia	Estratégia de Organização	Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços
Acesso ao Mercado e ao Cliente	Clientes e Parceiros	Fábrica do Futuro	Modelos de Negócios, Portifólio de Produtos e Serviços	Acesso ao Mercado e ao Cliente
Cadeias de Processos de Valor	Processos que agregam valor	Fábrica do Futuro	Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Cadeias de Processos de Valor
Arquitetura de TI	Informações de dados; Tecnologia	Fábrica do Futuro	Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Arquitetura de TI
Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação	Corporativo		Manufatura e Cadeia de Suprimentos	Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação
Organização e Cultura	Funcionários	Pessoas e Cultura	Estratégia de Organização	Organização e Cultura

FONTE: O autor (2019)

O quadro 4 correlaciona as similaridades presentes entre as categorias de cada modelo de maturidade com as categorias dos outros modelos, sendo respaldadas pelas informações obtidas pelas subcategorias apresentadas nos modelos. Após a análise foram extraídas as seguintes informações:

- O modelo do Schumacher *et al.* (2019) apresenta uma categoria denominada “Conformidade, Jurídico, Risco, Segurança e Tributação”, na qual apenas o SENAI e a PwC conseguem satisfazer parcialmente os conceitos de Conformidade, Risco e Segurança;
- O modelo de Bibby e Dehe (2018) até os pontos abordados não possui ligação com as categorias de Produtos e “Conformidade, jurídico, Risco, Segurança e Tributação”. Sendo assim, um modelo dentre os quais que possui um grau menor de análise;
- O modelo do SENAI traz consigo alguns pontos voltados a aplicação da filosofia *lean*, sendo uma particularidade específica encontrada apenas neste modelo de maturidade.

De modo geral há similaridade entre os conceitos da indústria 4.0 presentes nos modelos de maturidade analisados, apesar de possuírem pontos específicos como os citados acima, os modelos convergem para certa similaridade neste item.

A Utilização dos modelos de maturidade são analisadas no sétimo item da matriz, no entanto em ambos os modelos da PwC e do SENAI foram caracterizados como simples neste item, sendo principalmente pelo motivo de ambos estarem disponíveis nos sites das respectivas empresas de forma intuitiva. Já o modelo elaborado por Schumacher *et al.* (2019) foi caracterizado como médio, em demérito a necessidade do usuário saber identificar durante a aplicação do modelo quais são as questões com maior relevância para análise, na qual culminará nas ponderações dos resultados.

O oitavo item referência se há identificação de pontos fortes e fraquezas nos modelos de maturidade. Se por um lado os modelos da PwC, SENAI e da BIBBY e DEHE (2018), apresentam um formato de níveis a classificação da empresa em análise. Por outro lado, o modelo do Shumacher *et al.* (2019) apresentam o grau de cada uma das categorias analisadas, facilitando o entendimento dos pontos fortes e fracos da empresa com relação a adoção da indústria 4.0.

O penúltimo item verifica se o modelo possui a preocupação com a Cultura Organizacional da empresa, uma vez que as pessoas sofrem diversas mudanças com a adoção de nos conceitos industriais. Os modelos analisados possuem dentro de seu

escopo a preocupação com análise da cultura organizacional, exclusivamente remetido a fator pessoas. No entanto o modelo desenvolvido pelo SENAI aborda somente os funcionários executivos e gestores seniores, atendendo parcialmente este item.

E por fim, no decimo item verifica se os modelos sugerem alternativas de melhorias. Todavia os modelos de maturidade abordados se limitam em classificar o nível de maturidade industrial ou ponderar em categorias o nível de maturidade industrial de cada categoria. Na qual, podem ser definidos segundo Bruin *et al.* (2015) como modelos de maturidade descritivo, que por sua vez os resultados servem de base analítica para elaboração de um planejamento estratégico voltado aos pontos de melhorias. Outro ponto de destaque é que as empresas de consultoria PwC e SENAI, juntamente com seus respectivos modelos de maturidade ofertam serviços de consultoria para o desenvolvimento de ações voltados ao emprego da indústria 4.0, com base nas informações extraídas por seus modelos.

Com base nas análises de similaridade dos quatro modelos de maturidade selecionados, foi elaborado a tabela 2 apresentada abaixo, a partir dos critérios definidos e analisados no quadro 4. A tabela 2 apresenta os nomes dos modelos da seguinte forma:

- M1 - *Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises;*
- M2 - *Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector;*
- M3 - Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0;
- M4 - *Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment rity Model.*

TABELA 2: PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SIMILARIDADES

Critérios	Peso	MODELOS			
		M1	M2	M3	M4
Base de Conhecimentos	2	50,00%	50,00%	75,00%	100,00%
Escopo do Modelo	1	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Aplicação do Modelo	1	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Utilização	1	66,66%	-	100,00%	100,00%
Categorias de Avaliação	3	97,50%	95,00%	97,50%	100,00%
Considera Cultura Organizacional	2	100,00%	100,00%	50,00%	100,00%
Metodologia de Análise	1	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Identifica Forças e Fraquezas	1	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Classificação de Avaliação	2	50,00%	75,00%	100,00%	100,00%
Sugere Alternativas de Melhorias	1	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Média Ponderada por Modelo		84,9%	75,7%	77,7%	87,5%

FONTE: O autor (2019)

Na tabela 2, foi incluído pesos dentre os critérios de análises, sendo de peso três para Categorias de Avaliação, devido ao critério representar as informações trazidas a respeito da indústria 4.0, sendo este o critério principal para compreensão das informações advindas da temática. Os critérios com peso dois foram considerados: Base de Conhecimentos, Considera Cultura Organizacional, Identifica Forças e Fraquezas e Classificação de Avaliação, por sua vez são os critérios que mais impactam na estrutura do modelo após o critério Categorias de Avaliação. Constituindo-se da “Base de Conhecimento” e “Considera Cultura Organizacional”, critérios que trazem descrevem em um formato macro os conceitos utilizados e as preocupações base que estruturam o modelo, e “Identifica Forças e Fraquezas” e “Classificação de Avaliação”, ambos critérios que apresentam as informações de saída do modelo, ou seja, retratam a maturidade definida pelo modelo. E por fim, os demais critérios possuem peso igual a um, por apenas representarem a modelagem da estrutura composta nos modelos de maturidade.

Com relação as porcentagens apresentadas nos critérios: Escopo do modelo, Aplicação do Modelo, Metodologia de Análise e Sugere Alternativas de Melhorias, tiveram seus pontos de similaridade em 100%, como é apresentado na tabela 2. O critério Base de Conhecimentos teve como referência o modelo M4, que por sua vez apresenta além dos conceitos da indústria 4.0 presente nos outros modelos, também traz consigo conhecimentos do estado digital das indústrias em âmbito global, na qual apenas o modelo M3 se assemelha a esta ponto, porém trazendo apenas a tratativa

no âmbito nacional (Brasil). No critério com relação a utilização do modelo foi considerado, 100% para simples, 66,66% para média e 33,33% complexa, onde os modelos M3 e M4 apresenta uma dificuldade simplificada de utilização, enquanto o modelo M1 apresenta de maneira média como explicado acima. O critério Categoria de Avaliação traz o modelo M4 como o modelo referência, devido sua abrangência em relação as vinte categorias apresentadas no quadro 4, abordando pontos relacionados a área tributária e jurídica, que não foram identificados nos outros modelos, e o modelo M2 além não abordas estes dois pontos não trouxe também a abordagem ao ponto de “Produtos”. No item do critério: Considera Cultura Organizacional, o modelo M3 não apresenta total similaridade com a preocupação da adoção da indústria 4.0 junto a mudanças com todos os funcionários da empresa, tendo em vista somente a preocupação com os gestores e executivos. O critério Identifica Forças e Fraquezas, tem como referência modelo M1, que por sua vez é o único a transparecer forças e fraquezas. E por fim, o critério Classificação de Avaliação, levou em consideração os M3 e M4 que além de basear-se nas Categorias de Avaliação apresentam sua classificação de maturidade em níveis, com um formato literal, já o modelo M1 apresentam suas informações ponderadas apenas em categorias e não em níveis e o modelo M2 apesar de apresentar sua classificação em níveis, não apresenta de forma literal como os modelos M3 e M4.

Contudo a análise de similaridades apresentada acima dentre os quatro modelos de maturidade selecionados, foi possível destacar com base na média e pesos destacados na tabela 2 uma média de 81,5% de similaridade entre os modelos. Sendo o modelo da PwC o modelo que apresentou um maior valor percentual dentre as comparações realizadas, tornando-o nesta esfera de avaliação o mais completo.

Em geral os modelos de maturidade selecionados podem ser divididos em modelos desenvolvidos academicamente, que tem por característica uma abordagem mais teórica dos conceitos da indústria 4.0 transparecendo a necessidade de um melhor conhecimento teórico sobre a temática para sua devida utilização, e os modelos desenvolvidos por empresas de consultorias, sendo estes modelos que trazem também uma abordagem teórica da indústria 4.0 porém descrita de forma literal, auxiliando o usuário na utilização do modelo, bem como na compreensão da temática.

A temática contextualizada da indústria 4.0 especifica entre os modelos de maturidade selecionados, apresenta uma característica de estratégia deliberada.

Segundo Mintzberg *et al.* (2000) a estratégia deliberada reflete a antecipação de cenários futuros, ou seja, seu desenvolvimento ocorre em um médio ou longo prazo, sendo ligados a modelos corporativos de estratégia de negócios. Conforme este mesmo autor a estratégia deliberada por se tratar de um desenvolvimento de médio a longo prazo, proporcionam possíveis ajustes durante sua execução, no curto prazo, afim de definir seu melhor estado de aplicação. Isto é, a indústria 4.0 é vislumbrada por meio de uma conceituação ante sua real aplicação na prática, podendo ser modelada ao longo do desenvolvimento e aplicação prática dentro das indústrias. Assim diferentemente das outras revoluções industriais que foram marcadas por fatos empregados que posteriormente a caracterizaram, a indústria 4.0 ou quarta revolução industrial, segue uma conceituação *Top Down* (Na tradução, “de cima para baixo”) que na qual é primeiramente idealizada e posteriormente, sendo o momento atual, a realização do desenvolvimento de ações práticas por meio das definições dos conceitos. Segundo Corrêa *et al.* (2008), o conceito *top-down* tem como objetivo inicialmente definir no presente toda a ideologia, de forma atingir os resultados no futuro.

Em paralelo, outro ponto identificado durante a realização da pesquisa foi relacionado as críticas aos modelos de maturidades em geral, conforme destaca Donovan *et al.* (2016) sendo as críticas mais comuns referentes a rigorosidade deficiente, base teórica insuficiente e interpretações tendenciosas ao nicho de desenvolvimento, como exemplo o modelo do SENAI, com emprego da filosofia *Lean* em paralelo com a indústria 4.0 e o modelo do Schumacher *et al.* (2019), apresentando pontos tributários e jurídicos. Moldando os modelos conforme seu nicho de aplicação.

No entanto é difícil concluir que o grau de similaridade encontrado é satisfatório, uma vez que análise foi realizada por meio das macros informações, evidenciando e analisando os principais pontos presentes entre os modelos e não realização a aplicação prática dos modelos. Portanto, por se tratar de uma temática que não possui sua definição e aplicação concreta até o momento, com mencionado acima e dos modelos apresentados possuírem alguns pontos de características próprias, como exemplo o modelo do SENAI que aborda a filosofia *lean*. O trabalho se limita em concluir que com referência as macros informações trazidas com relação a indústria 4.0 os modelos possuem similaridades, apresentando um nível 81,5% de similaridade entre os modelos. No entanto os modelos de maturidade desenvolvidos pelas empresas de consultoria apresentam um melhor estado de desenvolvimento. Dado

que sua construção tem o uso de informações atuais do estado das indústrias e não apenas dos conceitos da indústria 4.0, e sua estrutura é apresentada em um formato literal tanto na coleta das informações, como no *output* dos resultados de maturidade, facilitando na compreensão da temática (ponto importante considerando que se trata de uma nova filosofia) e sua devida aplicação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A filosofia referente a indústria 4.0 ainda não possui uma conceituação definida, porém modelos de maturidades voltados a temática da indústria 4.0 estão sendo desenvolvidos. Evidenciando estes fatos, o trabalho identificou a necessidade de levantar mais informações a respeito da indústria 4.0, tendo por finalidade um melhor entendimento sobre seus conceitos descritos até o momento. Visto que o trabalho se objetiva em identificar se há similaridade entre os modelos de maturidade selecionados, voltados a temática da indústria 4.0, afim de verificar se os modelos estão seguindo a mesma tendência filosófica.

6.1 PRINCIPAIS RESULTADOS

Em geral os modelos de maturidade selecionados desenvolvidos por empresas de consultorias, apresentam em sua abordagem teórica da indústria 4.0 um formato literal, que auxilia o usuário na utilização do modelo, bem como na compreensão da temática. Enquanto os modelos que foram identificados na literatura científica apresentam uma abordagem mais teórica. Outro ponto identificado dentre os modelos foi com relação aos modelos possuírem características próprias, como é o exemplo do modelo do SENAI que aborda o conceito *lean*, ou seja, os modelos acabam se modelando conforme o nicho de mercado no qual está imergido.

Os conceitos da indústria 4.0 presentes nos modelos, sendo ela a temática específica, apresentou características que resultaram na limitação da conclusão da pesquisa, são elas: a conceituação *top-down* (tradução, “de cima para baixo”), na qual o conceito da indústria 4.0 foi primeiramente idealizado e posteriormente, sendo o momento atual, a realização do desenvolvimento de ações práticas com base nos ideias definidos, e a segunda característica consiste na definição da indústria com caráter de estratégia deliberada, que trata do desenvolvimento em médio a longo prazo da indústria, proporcionando a realização de ajustes durante sua implementação, afim de definir seu melhor estado de aplicação. Assim, ambos os pontos norteiam que a indústria 4.0 não possui devidamente uma contextualização definida, podendo haver distorções em diversos momentos.

Por fim, a pesquisa se limitou a concluir com referência as macros informações trazidas com relação a indústria 4.0 que os modelos possuem

similaridades, apresentando um nível 81,5% de similaridade entre os modelos. Dada limitação é devida por se tratar de uma temática que não possui sua definição e aplicação concreta até o momento, como mencionado acima e dos modelos apresentados possuírem alguns pontos de características próprias. Outra maneira de realizar a análise de similaridade entre os modelos que não foi abordada na pesquisa é com referência aos resultados extraídos da aplicação prática dos modelos, fato no qual não foi realizado por se tratar de um primeiro contato com a temática da indústria 4.0 junto a modelos de maturidade.

Além de contribuir com a identificação de similaridade por meio da análise qualitativa entre os modelos selecionados, este trabalho contextualizou de maneira breve as revoluções industriais ocorridas até o momento, com foco especial na contextualização da indústria 4.0. Conceito no qual parte de uma definição de estratégia deliberada, na qual foi conceituada com característica *top-down*. No entanto, como exposto por Schwab (2016), a indústria 4.0 é amparada pela base da microeletrônica da revolução digital anterior, ponto complicado para o desenvolvimento das indústrias brasileira, uma vez que durante a terceira revolução industrial do século XX, a indústria brasileira não foi hábil o suficiente para desenvolver a indústria microeletrônica comparado aos padrões desenvolvidos por potências como Alemanha e EUA. Nesta mesma época, o Brasil se voltou a preocupações relacionadas ao desenvolvimento das indústrias metalomecânicas, petrolíferas, químicas e eletromecânicas. O ineficiente desenvolvimento da indústria de microeletrônica no Brasil, afeta diretamente a base tecnológica necessária para a implementação da indústria 4.0 (IEDI, 2017).

6.2 CONCLUSÃO ACERCA DOS OBJETIVOS

Em consonância com os objetivos propostos, o trabalho foi capaz de identificar os quatro modelos de maturidade, voltados a temática da indústria 4.0, sendo dois deles encontrados na literatura científica e os outros dois desenvolvidos por empresas de consultorias. Posteriormente descritos individualmente no capítulo quatro e analisados suas respectivas similaridades no capítulo cinco, tendo por finalidade identificar por meio da análise de similaridade se os modelos de maturidade seguem a mesma tendência filosófica da indústria 4.0. No entanto por se tratar de uma temática que não possui sua aplicação prática consolidada dificultou a análise de

similaridade, prejudicando especialmente o trabalho que teve por característica analisar apenas informações teóricas apresentadas em cada um dos modelos, não realizando a análise por meio da aplicação prática dos modelos. Por fim, perante o proposto e por se tratar de uma primeira análise junto a modelos de maturidade da esfera acadêmica e desenvolvidos por empresas de consultoria, o trabalho foi capaz de cumprir os objetivos traçados.

6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A recomendação deixada para trabalhos futuros, é voltada a elaboração de uma proposta de um novo modelo de maturidade voltado a indústria 4.0 moldado pelas características presentes na região do Vale do Ivaí (região imergida pela UFPR – campus Jandaia do Sul), afim de posteriormente validá-lo na prática e assim, auxiliar no desenvolvimento de maneira segura e ágil das indústrias presentes na região. Devido ao fato de a pesquisa encontrar poucos modelos de maturidade na literatura científica, sendo eles voltados a indústria 4.0, com isto foi identificado um grande espaço para desenvolvimento de novas pesquisas na área, especialmente desenvolvimento de modelos de maturidade no cenário nacional brasileiro.

Outra proposta de trabalhos futuros seria a realização de um estudo de caso com a aplicação dos quatro modelos de maturidade selecionados em uma única empresa, com a finalidade de verificar de outra maneira se há similaridade de forma prática entre os modelos.

REFERÊNCIAS

ACATECH POSITION PAPER. Cyber-physical systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. **Acatech - National Academy of Science and Engineering**, 2011.

BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. **Metodologia da pesquisa e a Engenharia de Produção In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Niterói: ABEPRO, 1998.

BIBBY, L; DEHE, B. *Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector*. **Production Planning & Control**, p. 1–14, 2018

BRETTEL, M; FRIEDERICHSEN, N; KELLER, M; ROSENBERG, M. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.

BRUIN, T. D; FREEZE, R; KAULKARNI, U; ROSEMAN, M. Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model. **Australasian Conference on Information Systems (ACIS)**, p. 8–19, 2005.

PROENÇA, D; BORBINHA, J. **Maturity Models for Information Systems - A State of the Art**. *Procedia Computer Science*, v. 100, p. 1042–1049, 2016

CARDENAS, A. A., AMIN, S., & SASTRY, S. **Secure Control: Towards Survivable Cyber-Physical Systems**. The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. 2018.

CELLARD, A. **A análise documental**. In: POUPART, J; DESLAURIES, J; GROULX, L; LAPERRIÈRE, A; MAYER, R; PIRES, A. *A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos*. Petrópolis: Vozes, 2008.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAS DE NÍVEL SUPERIOR. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 27, de setembro, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Desafios para indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016.

CONSULTANCY UNITED KINGDOM. **The 10 largest consulting firms in the world**. Disponível em: <<https://www.consultancy.uk/news/14018/the-10-largest-consulting-firms-in-the-world>> Acesso em: 01 de novembro 2019

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção**. v. 5, São Paulo: Atlas, 2008

DAUDT, G; WILLCOX, L. D. Reflexões Críticas a Partir das Experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em Manufatura Avançada. **BNDES Setorial**. Rio de Janeiro, n. 44, p. 5-25, 2016.

DICIO. Maturidade - Dicionário Online de Português. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/maturidade/>> Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

DORST, W; EV, B. *Fabrik-und Produktionsprozesse der industrie 4.0 im jahr 2020. IM Fachz, Für Inf. Manag. Consult.* n. 34-37, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

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

HOBSBAWM, E. J. **A era das revoluções**. São Paulo: Paz e Terra. 2012.

HOZDIC, E. Smart Factory for Industry 4.0: A Review. **International Journal of Modern Manufacturing Technologies**. v. 7, n, 1, p. 28-35, 2015.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **Indústria 4.0: A quarta Revolução industrial e os desafios para a indústria e para o desenvolvimento brasileiro**. Jun. 2017. Disponível <http://www.iedi.org.br/media/site/artigos/20170721_iedi_industria_4_0.pdf>. Acesso em: 01 de dezembro 2019.

KAGERMANN, H; LUKAS, W; WAHLSTER, W. *Industrie 4.0: mit dem internet der dinge auf dem weg zur 4. industriellen revolution*. **VDI nachrichten**, Berlim, n. 13, abr. 2011.

KAGERMANN, H; WAHLSTER, H; HELBIG, J. *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 - Final Report of the industrie 4.0 working group*. **Acatech – National Academy of Science and Engineering**, 1-82, 2013.

KHOSHGOFTAR, M.; OSMAN, O. **Comparison of maturity models**. In: IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology – ICCSIT [S.I.], v.2, p. 297-301, 2009.

KOHLEGGGER, M.; MAIER, R.; THALMANN, S. **Understanding maturity models results of a structured content analysis**. In: Proceedings of IKNOW '09 and ISEMANTICS '09, September, p. 51–61, 2009.

LAURETH, W. C. Convergência Tecnológica, Educação e Trabalho: do discurso social global aos desafios regionais. **Revista da Associação Brasileira de Estudos do Trabalho**. João Pessoa, v. 13, n. 2, p. 279-293, 2014.

MITTAL, Sameer; ROMERO, David; WUEST, Thorsten. **Towards a Smart Manufacturing Toolkit for SMEs**. n. julho, p. 155–163, 2018.

MINTZBERG, H; AHLSTRAND, B; LAMPEL, J. **Safari de Estratégia**: Um Roteiro pela Selva do Planejamento Estratégico. Porto Alegre: Bookman, 2000.

PEINALDO, J; GRAEML, A. R. **Administração da Produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007.

PRICEWATERHOUSECOOPERS - PWC. **Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment Maturity Model**. Disponível em: < <https://i4-0-self-assessment.pwc.nl/i40/interview/>>. Acesso em: 03, de outubro, 2019.

RABECHINI JUNIOR, R. **Competências e maturidade em gestão de projetos**: uma perspectiva estruturada. São Paulo: Annablume: Fapesp, 2005.

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

ROSEMANN, M; BRUIN, T. De. Towards a Business Process Mangement Maturity Model. ECIS 2005 **Proceedings of the Thirteenth European Conference on Information Systems**, n. maio, p. 26–28, 2005.

SANTAELLA, L.; GALA, A.; POLICARPO, C.; GAZONI, R. Desvelando a Internet das Coisas. **Revista GEMInIS**, v. 4, n. 2, p. 19-32, 2013.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI. **Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0**. Disponível em: <<https://maturidade.senai40.com.br>>. Acesso em: 19, de setembro, 2019.

SCHEER, A. **Industrie 4.0**: Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus? Berlin: IMC AG, 2013.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SCHUMACHER, A; EROL, S; SIHN, W. ***A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises***. Austria: *Procedia CIRP*52, p.161–166, 2016.

SCHUMACHER, A; NEMETH, T; SIHN, W. **Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises**. Italy: Elsevier, v. 79, p. 409-414, 2019.

SCIENCEDIRECT. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 01, de novembro, 2019.

SILVA, E. L; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

WENDLER, R. The maturity of maturity model research: **A systematic mapping study**. *Information and Software Technology*, v. 54, n. 12, p. 1317–1339, 2012.