

<https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.18714>



IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS PARA PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE INDÚSTRIA 4.0 COM BASE NOS MODELOS DE MATURIDADE E PRONTIDÃO

Recebido em: 17 nov. 2020

Aprovado em: 20 mar. 2021

Versão do autor aceita publicada online: 20 mar. 2021

Publicado online: 30 jun. 2021

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA)

Costa, N. M., & Vanalle, R. M. (2023, abr./jun.). Identificação dos elementos para priorização de projetos de indústria 4.0 com base nos modelos de maturidade e prontidão. *Exacta*, 21(2), 366-397. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.18714>

Submeta seu artigo para este periódico

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor: [Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto](#)



Dados Crossmark



IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS PARA PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE INDÚSTRIA 4.0 COM BASE NOS MODELOS DE MATURIDADE E PRONTIDÃO

Nykael Moreira Costa¹ Rosangela Maria Vanalle²

Resumo: Esta pesquisa tem como objetivo, a identificação dos principais elementos de modelos de maturidade e prontidão da Indústria 4.0, no tocante a priorização de projetos. Por meio de uma revisão bibliométrica e sistemática da literatura, com a finalidade de contribuir teoricamente no aprofundamento do tema e, assim, analisar e reunir as pesquisas já disponíveis. Foi realizada a análise de redes e conteúdo para a identificação de lacunas na literatura. Os principais achados bibliométricos ressaltaram a concentração de artigos na Alemanha e na Itália, porém pode ser observado que nos últimos anos tem ocorrido uma descentralização dessa pesquisa para outros países. Após analisar os clusters, o autor Basl J. obteve destaque, por apresentar o maior número de publicações. Com relação a análise de redes, os Modelos de Maturidade e de prontidão, e o de Processo de Implementação e Avaliação da I4.0 mostraram maior relevância. Observou-se que propostas teóricas, além de integrações de metodologias para incorporar os projetos da I. 4.0. foram muito relevantes para fomentar esta pesquisa. Apesar da relevância do tema, ainda existem poucos trabalhos referentes a priorização de projetos. Que as escolhas, dificuldades e os fatores de sucesso precisam estar claramente alinhados com as estratégias adotadas, e que mesmo havendo a intenção ou um nível de prontidão, o caminho para um nível elevado de maturidade requer mudanças significativas nas empresas e pode levar algum tempo, para existir uma sinergia entre produtos, processos, e as estratégias da organização e sua cadeia de suprimentos.

Palavras Chaves: Indústria 4.0, Manufatura Inteligente, Modelo de Maturidade, Modelo de Prontidão, Priorização de Projeto.

Abstract: This research aims to identify the main elements of Industry 4.0's maturity and readiness models, with regard to project prioritization. Through a bibliometric and systematic review of the literature, with the purpose of theoretically contributing to the deepening of the theme and, thus, analyzing and gathering the research already available. Network and content analysis was performed to identify gaps in the literature. The main bibliometric findings highlighted the concentration of articles in Germany and Italy, but it can be observed that in recent years this research has been decentralized to other countries. After analyzing the clusters, the author Basl J. was highlighted, for presenting the largest number of publications. With regard to network analysis, the Maturity and Readiness Models, and the I4.0 Implementation and Evaluation Process showed greater relevance. It was observed that theoretical proposals, in addition to integrations of methodologies to incorporate the projects of I. 4.0. were very relevant to foster this research. Despite the relevance of the theme, there are still few works related to the prioritization of projects. That the choices, difficulties and success factors need to be clearly aligned with the strategies adopted, and that even if there is an intention or a level of readiness, the path to a high level of maturity requires significant changes in companies and can take some time,

¹ Universidade Nove de Julho – Uninove / São Paulo (SP) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

² Universidade Nove de Julho – Uninove / São Paulo (SP) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção



to have a synergy between products, processes, and the organization's strategies and its supply chain.

Key works: Industry 4.0, Smart Manufacturing, Model Maturity, Model Readiness, Project Prioritization.

1 Introdução

Em tempos atuais, a Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0 ou Manufatura Inteligente, tem apresentado forte presença nas pesquisas científicas. E por se tratar de um campo vasto, vislumbra inúmeras possibilidades para estudos, e, ainda, percebe-se que empresas, independente do porte, fazem parte desse cenário de grandes mudanças. Contudo, lacunas identificadas no período de realização desta pesquisa podem ser a causa da baixa quantidade de estudos referentes ao tema abordado, e no pouco apoio teórico existente à mudança de paradigma de mudar para “*Smart Manufacturing (SM)*” ou “*Indústria 4.0*” (Mittal et al, 2018; Piccarozzi, Aquilani e Gatti, 2018).

As empresas têm a necessidade de saber como detectar mercados de crescimento do futuro, muitas não sabem por onde começar, e de que forma gerar novas oportunidades de crescimento, ou, ainda, podem não saber como lidar com o paradigma face ao desafio para a indústria 4.0 em seus próprios negócios, e estão percebendo a real importância de integrar essa visão em seus negócios, além de buscar compreender a adoção em suas culturas organizacionais (Ganzarain e Errasti, 2016).

Essa revolução é marcada pela presença e pelo desenvolvimento de uma produção automatizada e inteligente, com capacidade de se comunicar de maneira autônoma, maneira essa que abrange tanto a integração horizontal como vertical das cadeias de suprimentos e os sistemas de produção (PICCAROZZI, AQUILANI e GATTI, 2018).

Para muitos, a Indústria 4.0 é a resposta ao desenvolvimento do mercado, para a internacionalização e competitividade crescente em mundo globalizado e sem volta. Relatos descritos nas pesquisas, indicam que o rápido desenvolvimento e adoção de tecnologias de Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*), sistemas ciber-físicos, inteligência artificial, robótica, segurança cibernética, realidade virtual e impressão 3D fazem parte da configuração dessa revolução. O termo Indústria 4.0 é caracterizado pelas adoções dessas tecnologias e obteve destaque a partir da derivação das estratégias do governo Alemão em 2011, momento pelo qual o governo buscou a promoção da digitalização de fábricas para fortalecer a evolução dos sistemas de produção (SAVASTANO et al, 2019).

É notável que estudos destacam que, na Alemanha, a implantação de estratégias de interação de *design* para introduzir a Indústria 4.0 obteve como restrições e principais destaques a padronização, recursos humanos, recursos financeiros, e uma crença sobre a digitalização (Mittal et al, 2018).

As indústrias precisam ser capazes de gerir toda sua cadeia de valor de forma ágil e responsiva, devendo ter estruturas físicas e virtuais que permitam a estreita cooperação e a rápida adaptação em todo o ciclo de vida da inovação de produtos e serviços (Ganzarain e Errasti, 2016).

Estudos, ainda, relatam que as indústrias europeias estão enfrentando desafios substanciais devido ao ritmo de crescimento do desenvolvimento social e tecnológico. Somando-se, também, a diminuição de disponibilidade de recursos naturais, custo da energia, o envelhecimento da população e seus funcionários, e a globalização dos mercados. Pertinente destacar que, no cenário atual, a economia está sofrendo graves desafios, somando-se a eles: maiores exigências por parte dos clientes, para que seja melhorada a inovação de produtos e serviços, para o aumento da variedade de produtos com altos padrões de qualidade, além de serviços de apoio ao imediatismo de satisfação (Ganzarain e Errasti, 2016).

Dentre as definições encontradas, a Indústria 4.0 é descrita como um conjunto de sete conceitos chave que são: as fábricas inteligentes, os sistemas ciber-físicos, a auto-organização, os novos sistemas de distribuição e aquisições, os novos sistemas de desenvolvimento de produtos e serviços, a adaptação às necessidades humanas e responsabilidade social corporativa (Ganzarain e Errasti, 2016).

Diversos autores apresentam estudos relacionados a aplicação e evolução dos conceitos da Indústria 4.0 dentro das indústrias. Desses estudos pode-se destacar os modelos de "maturidade" e de "prontidão", tais termos são utilizados para estudo e compreensão do grau de evolução e implementação dentro das empresas, apesar de existir semelhanças nos diversos conceitos, existe lacuna e são apresentados a ausência de consenso nas principais correntes de definições apresentadas nos modelos de maturidade e de prontidão (Mittal et al, 2018).

Os modelos de maturidade ajudam indivíduo ou entidade a atingir níveis mais sofisticados e relacionam pessoas, cultura, processos, estruturas, objetos e tecnologias em uma sequência de passo a passo, já os modelos de prontidão são considerados como ferramentas que avaliam determinado nível de preparação das condições, atitudes e recursos, em todos os níveis de um sistema que sejam necessários para alcançar um objetivo (Mittal et al, 2018).

Com essa variedade de modelos de maturidade e modelos de prontidão, apresentados na literatura, o número baixo de pesquisa e ausência de consenso entre as pesquisas encontradas, pergunta-se: Como está o cenário atual da literatura relacionados aos modelos de maturidade e os modelos de prontidão? Quais as publicações existentes? Existe alguma tendência dominante? E quais são os elementos principais de implementação dos modelos de maturidade e prontidão da Indústria 4.0?

Para responder a essas questões, o presente estudo teve como objetivo buscar, avaliar e identificar os principais elementos encontrados nos modelos de maturidade e prontidão da Indústria



4.0 no que se refere a priorização de projetos na Indústria 4.0 por meio de uma revisão bibliométrica e sistemática da literatura.

Por meio desse estudo, pode-se vislumbrar o aprofundamento da teoria relacionada ao tema, assim como, contribuir com a prática com a apresentação das pesquisas e conhecimentos disponíveis que podem ser utilizados pelas empresas como auxílio à tomada de decisões e escolhas tecnológicas, além de identificar lacunas na literatura e apresentar sugestão de propostas para pesquisas futuras.

Para isso, o trabalho foi dividido da seguinte forma: no primeiro capítulo, feito uma breve introdução; o segundo, traz os fundamentos teóricos nos quais a pesquisa foi conduzida; no terceiro, são apresentados os métodos e os procedimentos de pesquisa; no quarto capítulo, são apresentados os resultados e discussões da revisão bibliométrica e sistemática bem como análise de redes e de conteúdo; no quinto capítulo são apresentadas as conclusões; e, por fim, no sexto capítulo são apresentadas as referências bibliográficas.

2 Fundamentos teóricos

A Indústria 4.0 ou I 4.0 tem como abordagem principal equipar futuros produtos e sistemas de produção com sistemas embarcados de base para os sensores e atuadores inteligentes. O que possibilitará a comunicação e o controle de operações de maneira inteligente, definida por Anderl (2014) como a abordagem estratégica para a integração de sistemas de controle, tecnologia de internet e a comunicação entre sistemas complexos, as máquinas e dispositivos e as pessoas.

Para Brettel et al (2014) a I4.0 é ampla e abrange quatro componentes chaves os Sistemas Cibernéticos (CPS), a Internet das Coisas (IoT), a Internet de Serviços (IoS) e a *Smart Factory* em conjunto criar uma plataforma colaborativa de manufatura, além da comunicação máquina e máquina M2M onde esses produtos inteligentes são facilitadores da IoT, ou seja, produtos inteligentes são componentes independentes da Indústria 4.0, assim além das integrações das coisas, Brettel et al (2014) apresenta a virtualização de processos e de cadeia de suprimentos de forma a formar um grande conjunto harmonioso de empresas e entre empresas com informações fluindo em tempo real, além de tratar o *Big Data* e a Computação em Nuvem como um serviço de dados gerados pela implementação da I4.0 e não necessariamente como componentes independentes da I4.0.

Segundo Hermann et al (2015) I4.0 é um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor, como as estruturas modulares das fábricas inteligentes os CPS monitora processos físicos e cria uma cópia virtual desses processos físicos para que possam ser tomadas decisões e ao longo da IoT e os CPS tem a comunicação que visa cooperar entre os integrantes da cadeia de forma mútua associando assim as IoS dentro das empresas nos serviços internos como também entre organizações de todos os integrantes da cadeia.

Produtos Bosch Rexroth (2014) apresentam tecnologias embarcadas em máquinas, dispositivos, componentes e produtos possam se comunicar entre si em tempo real. Tais tecnologias como *chips* RFID, mini *transponders*, oferecem oportunidades para coleta de mais dados e mapear a unidade completa de produção, os produtos deixam de ser meramente passivos e passam a se comunicar com todo sistema produtivo.

A evolução da Indústria 4.0 requer um processo evolutivo onde surge as avaliações de maturidade ao qual implica em demonstrar uma capacidade específica ou na realização de um alvo a partir de uma fase inicial e uma fase final desejada. Soanes e Stevenson (2006) apud Mettler (2011) definem maturidade como o estado de está completo, perfeito ou pronto. Uma base usada para avaliar a maturidade em sistemas sociais são as dimensões pessoas/cultura, processos/estrutura e objetivos/tecnologia e seus fatores de maturação, onde Weinbert (1992), entre diversos autores, foi pioneiro ao delinear sua forte dependência e os efeitos sobre a maturidade em seus estudos relacionados a engenharia de *software*, no entanto, nem sempre existe influência mútua dado a existências de outras perspectivas relacionadas aos impactos sobre a maturidade dos sistemas sociais (Mettler, 2011).

Apesar de rotularem como sinônimos o que não são os modelos de prontidão tem como objetivo de capturar o ponto de partida e permitir a inicialização do processo de desenvolvimento, ocorre por tanto antes de se envolver um processo de amadurecimento como destaca os modelos de maturidade (Schumacher et al, 2016).

3 Método de pesquisa

Este artigo é caracterizado como teórico pela natureza e descritivo pelos objetivos, utilizando a revisão bibliométrica e sistemática como base de estudo por possibilitar um agrupamento de métodos e técnicas de pesquisa. A bibliometria de acordo com Vanti (2002) e Araujo (2006) é um agrupamento de métodos e técnicas de pesquisa que faz uso da análise quantitativa e estatística de dados, em vista de mapear e mensurar a produção, construção e disseminação do conhecimento. Para tal, foi realizada uma revisão sistemática da literatura (Alcantara e Martens, 2019), mesclando também a bibliometria com análise de conteúdos e análise de redes.

Oliveira Neto (2018) destaca a revisão sistemática e bibliometria da literatura como forma de contribuir na análise e no desenvolvimento de conteúdos categorizando e codificando os dados, e também envolver a análise quantitativa e estatística de dados. Foi utilizada a análise crítica e de conteúdo de forma a mapear e mensurar a produção, construção e disseminação do conhecimento (Araújo, 2006; Tasca et al, 2010).

Como o objetivo do trabalho compreendeu uma investigação do que tem sido publicado a respeito dos modelos de maturidade e de prontidão na I4.0, foram definidas palavras chaves. E as



palavras cognatas relacionada ao tema de estudo, realizada a busca com as combinações das palavras chaves de três em três palavras chaves devido a limitação de algumas bases de dados não possibilitou a pesquisa com todas as palavras chaves simultaneamente, definido os bancos de dados para realização da pesquisa. E foi realizada a delimitação dos artigos escolhidos para análise por meio dos critérios de pesquisa estabelecidos, esses passos estão todos demonstrados no quadro apresentado a seguir na Quadro 1.

Por fim todos os artigos coletados foram salvos em única pasta de trabalho e eliminado todas as duplicações de artigos, assim restando somente uma versão de cada artigo encontrado.

Quadro 1

Critérios para busca de artigos

<p>Palavras-chave e cognatas</p>	<p><i>Industry 4.0; Industrie 4.0; I4.0; Smart manufacturing; Smart factory Maturity Model; Readiness Model Project Priority; Project Prioritization</i></p>
<p>Combinações de palavras chaves</p>	<p><i>"Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Prioritization" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Priority" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Prioritization" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Prioritization" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Priority" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Prioritization" "Industrie 4.0"AND "Maturity Model" AND "Prioritization" "Industrie 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Priority" "Industrie 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Prioritization" "Industrie 4.0"AND "Readiness Model" AND "Prioritization" "Industrie 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Priority" "Industrie 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Prioritization" "I4.0"AND "Maturity Model" AND "Prioritization" "I4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Priority" "I4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Prioritization" "I4.0"AND "Readiness Model" AND "Prioritization" "I4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Priority" "I4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Prioritization" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Prioritization" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Priority" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Prioritization" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Prioritization" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Priority" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Prioritization" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Prioritization" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Priority" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Prioritization" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Prioritization" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Priority" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Prioritization" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Prioritization" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Priority" "Industry 4.0"AND "Maturity Model" AND "Project Prioritization" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Prioritization" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Priority" "Industry 4.0"AND "Readiness Model" AND "Project Prioritization"</i></p>

Bases de dados pesquisadas	<i>Science direct; Scopus; Web of Science; Wiley Library; Compendex; Taylor & Francis Online; Emerald Insight; IEEE; Revista Exacta; Capes; Scielo; Google Scholar; IGI Global</i>
Filtros utilizados na busca e critérios de exclusões	As palavras chaves presentes nos campos: - <i>Title</i> (Título) ou <i>Keywords</i> (Palavras-chaves) ou <i>Abstract</i> (resumo) Os tipos de artigo: somente os artigos de periódicos Período: até ano de 2019.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O estudo trata de uma revisão da literatura sobre modelos de maturidade e prontidão da Indústria 4.0 e Manufatura inteligente incluindo termos como maturidade, prontidão, projetos, priorização. Para revisão bibliométrica e sistemática foi pesquisado nas bases de dados descritos no quadro 1, nos campos de título, resumo e palavras-chave por meio de etapas, restringindo a pesquisa até ano de 2019.

Na primeira etapa foi utilizado os termos “*Industry 4.0*” OR “*Industrie 4.0*” OR “*I4.0*” OR “*Smart manufacturing*” OR “*Smart factory*” de maneira abranger todo conteúdo relacionado. Foram obtidos 10.302 documentos sem nenhuma restrição adicional. Com intuito de focar mais a pesquisa a segunda etapa incluiu os termos “*Maturity Model*” OR “*Readiness Model*” AND “*Project Priority*” OR “*Project Prioritization*”. A pesquisa final contemplou as seguintes palavras chave: “*Industry 4.0*” OR “*Industrie 4.0*” OR “*I4.0*” OR “*Smart manufacturing*” OR “*Smart factory*” AND “*Maturity Model*” OR “*Readiness Model*” AND “*Project Priority*” OR “*Project Prioritization*” e foram encontrados 283 documentos potencialmente focados em modelos de maturidade e prontidão em indústria 4.0 e Manufatura inteligente relacionados a priorização de projetos. Esses documentos foram utilizados para a análise bibliométrica, seguindo análise de redes, e para análise de conteúdo onde identificou-se os elementos principais Indústria 4.0 apresentados pelos artigos.

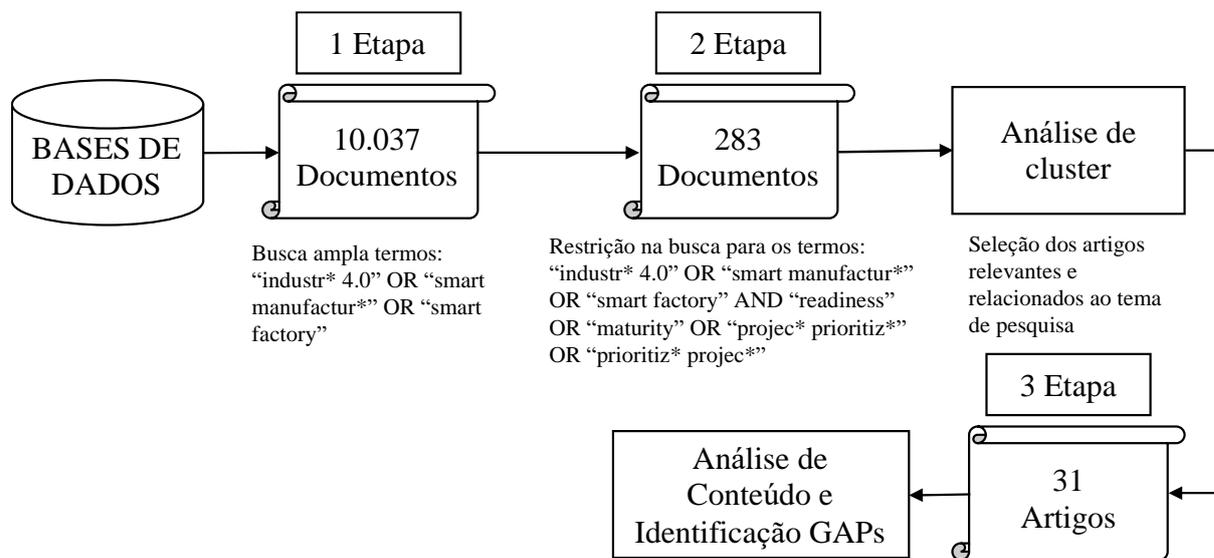
Para a análise de redes foi utilizado para as representações gráficas o *Software Vosviewer*, que trata de uma ferramenta para construção e visualização de redes bibliométricas a partir dos dados obtidos pelas bases de dados (Van Eck e Waltman, 2017).

Após a análise de rede e análise de conteúdo realizadas nos artigos foi possível observar que mesmo tratando-se de artigos relevantes, nem todos demonstraram correlação com o tema estudado. Assim após essa revisão crítica de rede e de conteúdo foram selecionados somente 31 artigos com a maior relevância para o objetivo do estudo conforme mostra a Figura 1.

Vale ressaltar que o número limitado de artigos mostram carência de pesquisas e que há necessidade de novas pesquisas sobre a identificação dos principais elementos e características dos modelos de maturidade e de prontidão relacionados a adoção de tecnologias habilitadoras na indústria 4.0.

Figura 1

Roteiro de análise dos artigos



A revisão crítica proposta é essencial para identificar as principais fontes que lidam com modelos de maturidade e modelos de prontidão relacionados a Indústria 4.0 e Manufatura Inteligente. Os termos "Smart Manufacturing" e "Smart Facturing" são mais utilizados nos Estados Unidos em comparação com "Indústria 4.0" que vem sendo utilizado em um número maior de países. Dentre os documentos pesquisados comparativamente apresentam maior relevância aqueles relacionados à palavra-chave "Indústria 4.0".

Como contribuição, buscou-se formar um portfólio de artigos alinhados ao tema do estudo, cujos meta-dados foram analisados no Software VosViewer que possibilitou a análise bibliométrica gerando agrupamentos de artigos e pesquisadores, assim como a análise de rede dos dados (Van Eck e Waltman, 2017).

Os resultados obtidos nas análises ajudaram na seleção dos principais elementos mais relevantes de priorização em projetos de indústria 4.0 e no levantamento dos principais elementos e características relacionados aos modelos de maturidade e de prontidão. Essas informações possibilitaram, portanto, a evolução para futuros trabalhos relacionados a priorização de elementos de adoção de tecnologias habilitadoras nos projetos de Indústria 4.0, embasados nos modelos de maturidade e de prontidão.

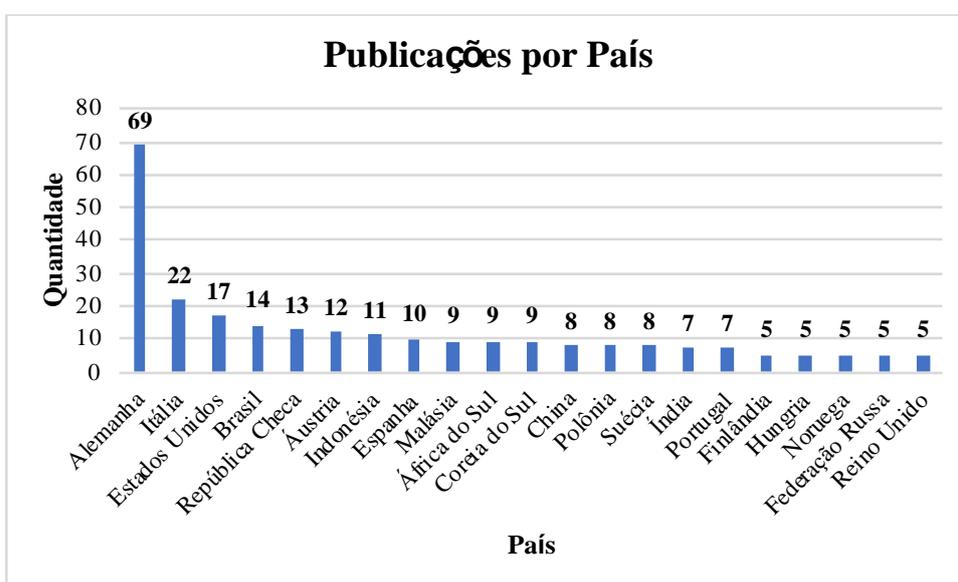
4 Resultados e discussões

4.1 Análise das publicações

As análises bibliométricas dos artigos possibilitou identificar os principais países que estão realizando estudos relacionados às palavras chaves. Foram selecionados os países com cinco ou mais publicações e ao avaliar esse aspecto pode-se observar a predominância das publicações e autores na Alemanha conforme observado na Figura 2.

Figura 2

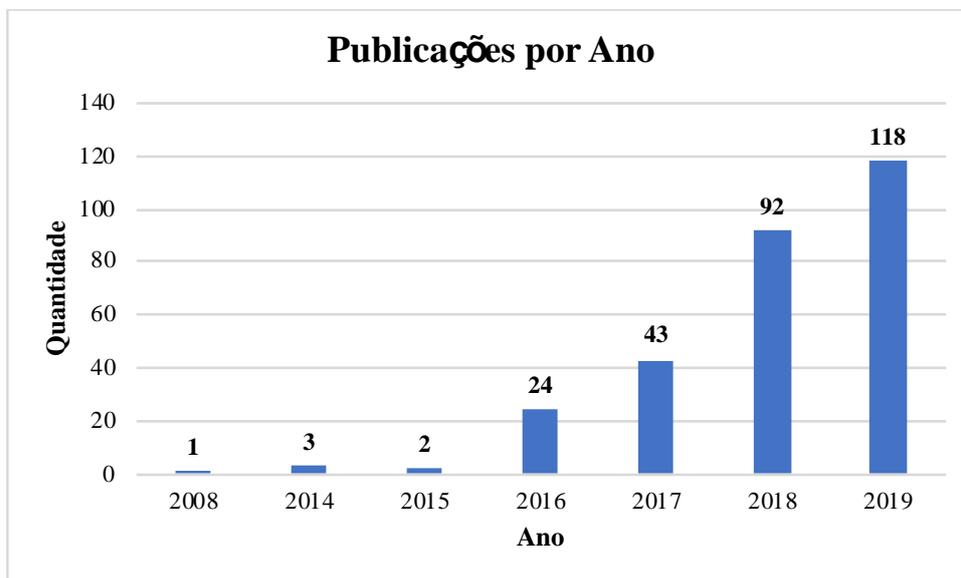
Análise de Internacionalidade dos Artigos



Na sequência das análises na busca pela latência do tema frente a evolução dos anos foi avaliada a quantidade dos artigos ao longo dos anos, como apresentado na Figura 3. Observa-se um pequeno número de publicações ao longo dos anos de 2008 a 2015 e que a maioria das publicações realizadas foram a partir de 2016, apresentando um aumentando significativo até o ano de 2019.

Figura 3

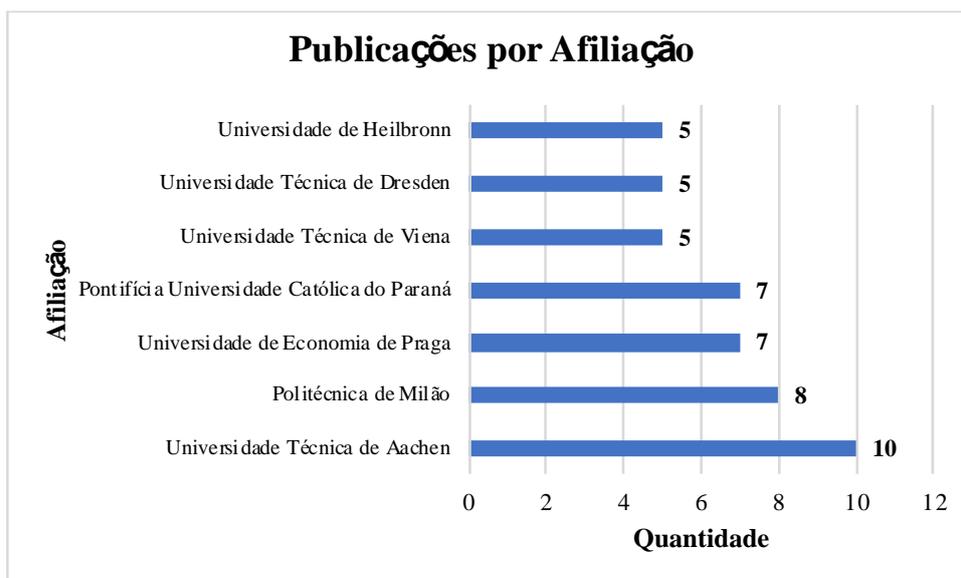
Quantidade de Artigos por Ano de Publicação



Após as análises anteriores, foi realizada uma análise sobre a afiliação dos autores. Essa análise indica em que universidades os primeiros autores publicaram, como mostra a Figura 4. Os dois principais grupos de destaque são a Universidade Técnica de Aachen, na Alemanha e Politécnica de Milão na Itália.

Figura 4

Afiliação dos Primeiros Autores

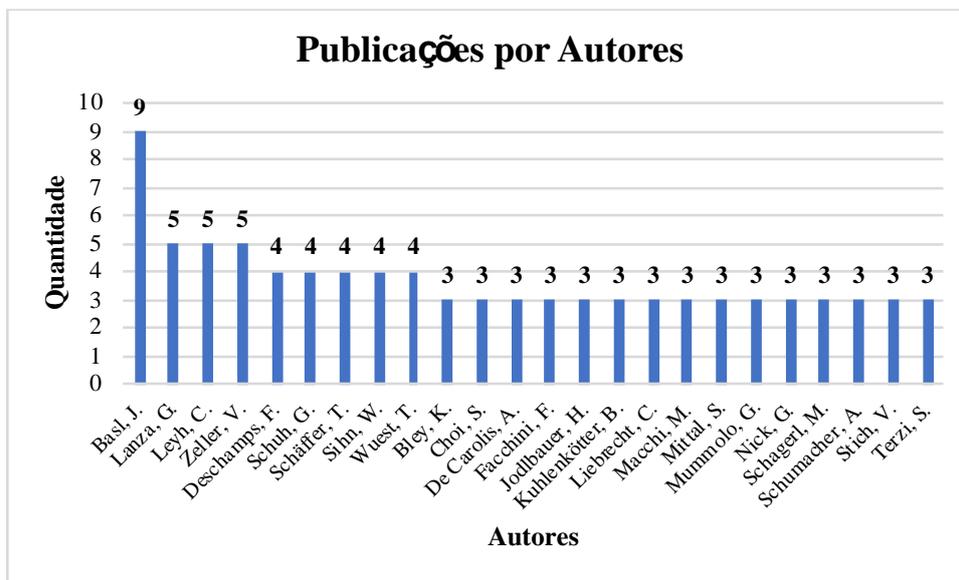


Uma vez identificada as afiliações dos autores, foi realizada a pesquisa de identificação da contribuição dos autores. Nessa análise buscou-se identificar a contribuição do primeiro autor de cada

artigo demonstrando o agrupamento dos autores que tiveram 3 ou mais publicações, ao qual, pode ser observado na Figura 5.

Figura 5

Principais Autores e Quantidade de Publicações



4.2 Análise de redes e clusters

Para realização da análise dos clusters foi considerado no primeiro momento o agrupamento com no mínimo 20 citações por autor, no entanto, no resultado ocorreu uma grande dispersão dos artigos e pouca conexão da rede avaliada, mesmo assim foi possível observar um grupo de autores diretamente relacionados a Modelos de Maturidade e Prontidão centralizado e destacado na cor vermelha conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6

Mapa de Rede de Autores critérios abrangentes

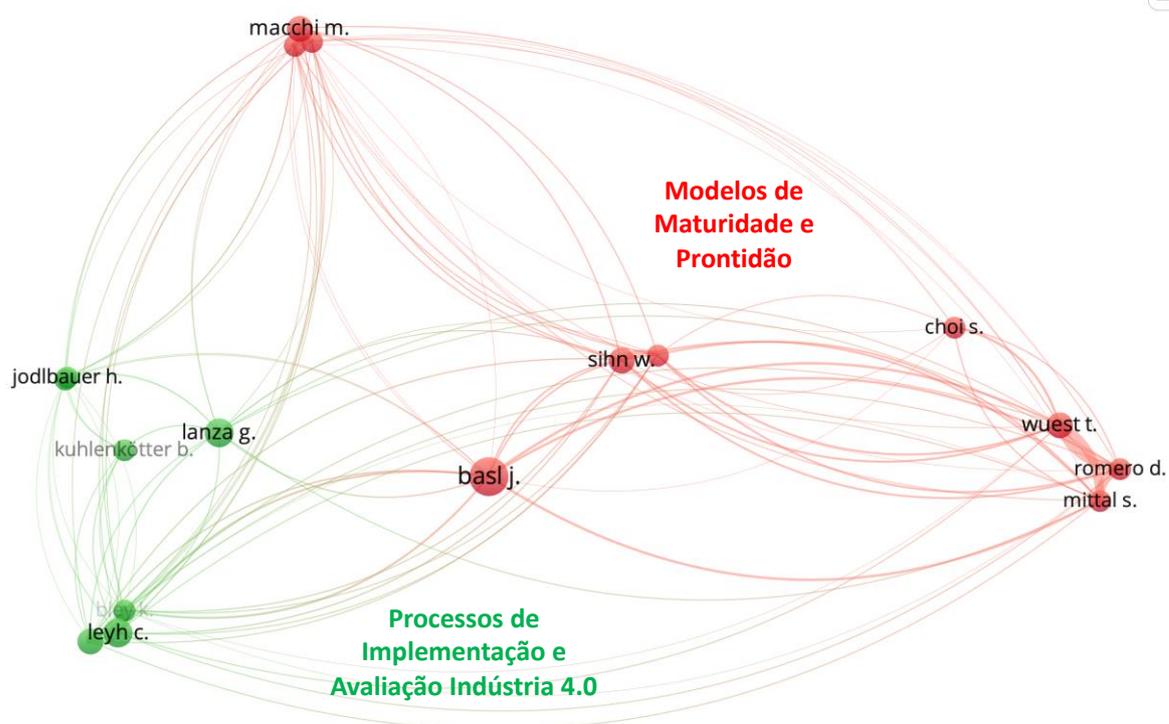


Como pode ser observado na Figura 6 o resultado da dispersão dos pesquisadores pode demonstrar a ausência de consensos entre as pesquisas, bem como correntes dominantes relacionadas ao tema. A concentração apresentada é decorrente de forte presença do tema no país (Alemanha) que originou o termo Indústria 4.0, o que reforça que demais pesquisadores e países não tem igual importância nacional.

Após a verificação do agrupamento de autores diretamente relacionados a Modelos de Maturidade e Prontidão foi aplicado novos parâmetros de agrupamento, definidos como no mínimo de 3 artigos por autores e 10 citações por autor. Esses parâmetros possibilitaram uma melhor visualização dos clusters mostrados na Figura 7. No qual, os principais autores e mais relevantes foram destacados pelas áreas destacadas na cor vermelha, e também as conexões por meio das linhas que interligam toda a rede.

Figura 7

Mapa de Rede de Autores com critérios restritos



Ainda na observação e análise da Figura 7, destacam-se 2 agrupamentos, onde cada um, a partir dos autores principais, pode ser classificado pelas linhas de pesquisas relacionadas. Onde o Cluster 1 trata dos Modelos de Maturidade e Prontidão, o Cluster 2 Processos de Implementação e Avaliação Indústria 4.0. Esses dois agrupamentos somados contemplam 12 artigos, os quais foram avaliados detalhadamente e o levantamento dos principais elementos e características apresentados a seguir na Figura 8, referente a esses Modelos de Maturidade e Prontidão que estavam disponíveis nesses artigos.

O número de citação de uma palavra nos artigos permite uma primeira leitura dos temas em uma área (Thomé et al., 2016). Entre as 1.570 palavras citadas nos 283 artigos, 32 palavras foram citadas mais de 10 vezes, conforme apresentado na Figura 8. A visualização da rede, quanto maior o círculo, maior o peso desse item, dentre quais destacam termos como Indústria 4.0 e Modelos de Maturidades.

Modelos de Maturidade são modelos que ajudam um indivíduo ou entidade a alcançar um nível de maturidade mais sofisticado (ou seja, capacidade) nas pessoas, cultura, processos, estruturas, e/ou objetos, seguindo um processo passo a passo de melhoria contínua (Mettler, 2011).

Para Rockwell Automation (2014), a tecnologia e a conexão são fatores essenciais na evolução da maturidade das empresas. É destacado em seu modelo quatro dimensões de tecnologia em prol de ajudar a alavancagem das indústrias como (1) a Infraestrutura de informação, (2) Controles e dispositivos, (3) Redes facilitadoras, (4) as Políticas de segurança. Adicionado um plano de ação de cinco estágios: (1) Avaliação das saídas da tecnologia de informação; (2) Rede e controles seguros e atualizados, (3) Definição de capital de dados organizados; (4) Análises em tempo real; e (5) a Colaboração entre empresas da cadeia.

Segundo Anderl et al (2015) a maturidade está relacionada a presença de diretrizes no modelo de negócio da organização, ao qual, diferem por fases como: (1) Preparação da base de conhecimento; (2) Análise das competências e projetos internos; (3) Ideias criativas e modelos de negócios; (4) Avaliação; (5) Aplicação prática. Juntamente com essas diretrizes um modelo de passos para visão da empresa de Indústria 4.0.

Já Weyer et al (2015) tem uma consideração de soluções mais abertas e padronizadas como fatores essenciais na obtenção de sucesso de adoção a Indústria 4.0, dentre essas soluções contemplam uma produção Inter operável altamente modular e de como os fatores críticos podem reorganizar a diversidade de soluções, a maturidade da empresa está diretamente relacionada ao menor envolvimento humano e a maior digitalização dos processos e sistemas. Caracterizado pelos cinco estágios de maturidade a saber: (1) Linha de produção e processo inteligentes; (2) Conecta e produz, (3) Infraestrutura inteligente; (4) Solução a trabalhos manuais; (5) Arquiteturas de controles; e (6) Integração vertical de sistemas, nesse último a integração com a cadeia de valor.

Na mesma linha de trabalho e tendo como foco principal as estratégia de digitalização, Geissbauer (2016) relata que essa estratégia é chave para as capacidades da Indústria 4.0, relata em seu modelo dimensões relacionadas aos modelos de negócios digitais, a própria digitalização de oferta de produtos e serviços, a digitalização e a integração da cadeia de valor vertical e horizontal, os dados e as análises relacionadas, a arquitetura de TI ágil, a segurança de conformidade e também a Organização e a Cultura digital, essas dimensão são avaliadas em quatro níveis de maturidade: (1) Novato digital, (2) Integrador vertical; (3) Colaborador horizontal e (4) Campeão digital.

Leyh et al (2016) apresentam o Sistema Integrado de Modelo de Maturidade Indústria 4.0 (*SIMMI 4.0 System Integration Maturity Modelo Industry 4.0*) como um modelo dividido em cinco etapas nos quais as atividades essenciais de cada fase precisam ser cumpridas para que seja capaz de alcançar uma nova fase, dentre as dimensão avaliadas estão a integração vertical e horizontal, o desenvolvimento de produtos digitais, e os critérios tecnológicos transversais, avaliados pelos níveis da



fase 1 de digitalização básica, fase 2 digitalização interdepartamental, fase 3 digitalização horizontal e vertical, fase 4 digitalização completa, e por fim a fase 5 a otimização da digitalização completa.

Em seu Framework os autores Qin et al (2016) partem da necessidade de reconhecer como pontos principais as dimensões da fábrica, negócio, processos e clientes e consideram os cinco níveis de maturidades para integração das novas capacidades de produção sendo: (1) Células automatizadas, (2) Sistema automatizado, (3) Sistema flexível de fabricação, (4) Sistema integrado de fabricação, e (5) Sistemas de fabricação reconfiguráveis, de acordo com os autores as empresas podem criar blocos de construção para alcançar sistemas cada vez mais integrados, pode meio de melhores práticas e agrupados a construir um sistema coerente e inteligente, dessa forma progredir nos três níveis de maturidades diferentes os recursos de automação refletidos nas máquinas, os níveis de processos, e a capacidade de inteligência nos níveis de controle.

Schumacher et al (2016) aplica uma abordagem mais completa com uso do próprio modelo de maturidade para avaliação e cálculo do nível de prontidão da empresa em adotar a Indústria 4.0 suas tecnologias e as práticas de automação digital e inteligentes, dentre os diferentes aspectos qualitativos e quantitativos tem como base nove dimensões críticas a estratégia, liderança, clientes, produtos, operações, a cultura, pessoas, governança, tecnologia. E a avaliação ocorre de maneira genérica, porém em cinco níveis de forma que o nível 1 a falta dos atributos necessários e o nível 5 a completa presença desses atributos.

A partir de oficinas, os autores De Carolis et al (2017) apresentaram que a maturidade da tecnologia está diretamente relacionada a conectividade da informação, os processos, a capacidade da organização e das pessoas, e apresenta esses fatores como sendo os pilares da manufatura inteligente, e esses fatores podem ser avaliados a partir de cinco níveis de maturidade o (1) Inicial, (2) Gerenciado, (3) Definido, (4) Integrado e Interoperável e (5) Orientado digitalmente.

Gökalp et al (2017) adotaram um processo de melhoria de software para avaliação e determinação de capacidade na abordagem de elaborar um modelo de maturidade da indústria 4.0 considerando cinco dimensões chave: a gestão de ativos relacionados a tecnologia de informação, a governança dos dados para análise e tomadas de decisões, a aplicação na gestão e interfaces dos fluxos de informações, a formação de processos, e o alinhamento organizacional.

Segundo Kannan et al (2017) ao analisar as lacunas dos padrões industriais frente as possibilidades de automação rumo a jornada da indústria 4.0 os autores abordam os requisitos base para um modelo integrado subdividido em três fases: a primeira, a seleção de fornecedores que tenham capacidade de oferecer as tecnologias necessárias, segunda fase, os requisitos para modelagem do sistema, e por fim a terceira fase, a análise e identificação dos gaps e/ou lacunas entre os serviços fornecidos e os requisitos da indústria.

Segundo Lee et al (2017) o uso de ferramenta de análise de rede explica que a maturidade das empresas relacionada a indústria 4.0 se dá pela evolução nas aplicações das tecnologias ao longo da cadeia de valor partindo das três dimensões que consideram mais relevantes: a centralização em instalações e infra estrutura da tecnologia, a centralização em compras e estoques, e ao grupo completo. E partindo para a escala de maturidade em 5 níveis: (1) Verificação, (2) Monitoramento, (3) Controle, (4) Otimização, e (5) Autonomia.

A proposta de Schuh et al (2017) tem como consideração importante que a digitalização é um facilitador para a Indústria 4.0 em sua avaliação do índice de maturidade e na sua metodologia com seis níveis de desenvolvimento: (1) a informatização, (2) a conectividade, (3) Visibilidade, (4) a transparência, (5) previsibilidade, e (6) adaptabilidade. Esses níveis avaliam quatro áreas chave e duas subdimensões em cada estágio de maturidade, as áreas são: os meios, sistemas de informação, a estrutura da organização, e a cultura organizacional, e as duas subdimensões são: a presença de várias tecnologias de ponta, e a cultura adaptável na organização.

Akdil et al (2018) destaca três grandes dimensões: o produto e serviços inteligentes, os processos de negócios inteligentes, e as estratégias da organização. A partir dessas dimensões o modelo proposto estabelece quatro níveis de maturidade, partindo do nível zero representando a ausência de atendimento a requisitos da Indústria 4.0, primeiro nível a existência já estão presentes e integrados a automação, coleta de dados, tecnologias digitais, a interoperabilidade entre outros, segundo nível de sobrevivência quando a utilização da empresa integrada, o compartilhamento de dados, a interoperabilidade, etc, estão em nível médio, o terceiro nível e último nível de maturidade essas mesmas características já estão em nível alto de utilização,

Segundo Asdecker e Felch (2018), os atuais modelos de maturidade da Indústria 4.0 se concentram principalmente nos processos de fabricação e indica o gap de pesquisa com relação à logística, ao consolidar idéias de outros modelos, a proposta apresentada considera cinco níveis de estágios possíveis e faz uso de métodos quantitativos para análise da maturidade, relacionado ao nível e dimensão das tecnologias na indústria, partindo do nível 0 não implementado, nível 1 parcialmente implementado, nível 2 a maioria implementada e nível 3 totalmente implementado, salientando ainda as dimensões analisadas contempla características como: Compreensibilidade, Abrangência, Relevância, Consistência, Estrutura Sistemática, Detalhamento, Confiabilidade e a Aplicabilidade, esses conjunto de níveis e características posta em uma escala possibilitaria a avaliação da maturidade da empresa comparativamente a outras empresas.

O grupo identificado com os modelos de Prontidão contém os autores que propuseram modelos de prontidão para implementação da indústria 4.0. Estes autores explicam a importância do índice de prontidão na implementação da indústria 4.0 e sua aplicação. As avaliações de prontidão são



ferramentas de avaliação para analisar e determinar o nível de preparação das condições, atitudes e recursos, em todos os níveis de um sistema, necessário para alcançar seu objetivo (Bibby e Dehe, 2018).

Bibby e Dehe (2018) sugerem um modelo de avaliação desenvolvido para medir o nível de implementação das tecnologias da Indústria 4.0, em torno de três dimensões: 'Fábrica do Futuro', 'Pessoas e Cultura' e 'Estratégia', juntamente com a avaliação de maturidade em 4 níveis com indicadores definidos para cada nível, no nível 1 quando mínimo está aplicado, nível 2 desenvolvido, nível 3 definido e nível 4 Excelente.

De forma simplificada Botha (2018) propõe um modelo de avaliação de prontidão para Indústria 4.0, se concentrando principalmente, nas estratégias de digitalização como a chave para recursos do setor 4.0, no modelo proposto as dimensões críticas avaliadas são relacionadas as tecnologias predominantes, o comportamentos dos ambientes externo e interno, e os impactos relacionados aos eventos econômicos e sociais, o modelos avaliar tais dimensões nos três níveis propostos, nível 1 despreparado, nível 2 em andamento, e nível 3 pronto.

Em uma abordagem diferente do tema, Colli et al, (2018) fornece de maneira ilustrativa uma nova abordagem de avaliação de maturidade digital denominada de 360 *Digital Maturity Assessment* que tem como base o modelo de aprendizagem baseado em problemas (PBL), nesse modelos dimensões destacadas são: a Governança, Tecnologia, Conectividade, Criação de valor e as competências, avaliadas a partir dos seis níveis propostos no modelo sendo: (1) Nenhum, (2) Básico, (3) Transparente, (4) Consciente, (5) Autônomo, e (6) Integrado.

Publicações de Deloitte (2018) apresentam estudos realizados em diferentes empresas e países relacionados ao nível de maturidade avaliado e leva em consideração as seguintes dimensões: Cliente, Estratégia, Tecnologia, Operações, Organização e Cultura. Entretanto, não existe clareza nos níveis aplicados para comparar os níveis de maturidade.

Neste contexto Ganzarain e Errasti (2018) afirmam que as pequenas e médias empresas carecem dos pré-requisitos básicos, como conscientização, conhecimento, processos formalizados, técnicas e ferramentas necessárias para a adoção de uma diversificação estratégica, a abordagem dos autores considera a diversificação das estratégias organizacionais como principal ativador da Indústria 4.0, em seu modelo de três estágios na fase 1 a empresa desenvolve uma visão específica a respeito da Indústria 4.0, na segunda fase a visão é informada, ou seja, percorre a rede, os processos, os produtos e dimensões de mercado, e por fim na terceira fase os projetos de Indústria 4.0 são incorporados na formação de políticas e gestão de riscos, treinamentos de funcionários e a formação de parcerias chaves, portanto, a empresa tem um caminho a ser percorrido.

Em contrapartida, Jung (2018) assume a presença de dispositivos digitais integrando cadeias de suprimentos foi exigido uma atualização em tempo real do produto com os colaboradores, o que pode não ser possível para as pequenas e médias empresas implementarem devido às restrições financeiras.

E considera uma nova abordagem do sistema de manufatura dentre quatro dimensões: a maturidade organizacional, a maturidade da tecnologia e da informação, a maturidade de gerenciamento e, por fim, a maturidade de conectividade de informações.

Tratando do mesmo aspecto de digitalização, mas de forma mais abrangente, Lichtblau et al (2018) considera a integração horizontal com clientes e fornecedores externos como parte da base técnica que suporta pequenas e medias empresas. Seis dimensões são consideradas por Lichtblau et al (2018) para um ambiente da indústria 4.0 incluindo, digitalização, produtos inteligentes, conscientização e treinamento dos funcionários, estratégias, organização adequadas e cultura alinhada com a Indústria 4.0.

Enquanto isso, Lu e Weng (2018) trazem uma abordagem mais clássica, um roteiro de tecnologias baseada na revisão de literatura e pesquisa com especialistas além de propor e demonstrar a correlação entre as tecnologias dominantes para manufatura inteligente e maturidade do mercado. Dentre as tecnologias apresentadas estão: sensores de precisão, sensores de ambiente e biométricos, monitoramento online de precisão, tecnologia de identificação e medição, integração de rede heterogênea, plataforma de desenvolvimento de integração internet das coisas (IoT), integração de máquina ferramentas, equipamentos ou componentes com dispositivos sensores, integração de dispositivos de ambiente e sensores, serviços de aplicativos baseados em sistemas ciber físicos (CPS), análise de Big Data, Sistema de integração de espaço de campo e IoT, plataforma de serviço de informações interativas de produtos, plataforma de integração para tomada de decisão e gerenciamento de risco, previsão em tempo real e módulo de sistema flexível, monitoramento e identificação e aviso, inteligência de manufatura preditiva, tecnologia de modelagem de previsão de vendas e produção, otimização do cronograma de produção.

Já uma outra dimensão é explorada por Maasz e Darwish (2018) sobre os níveis de maturidade da indústria 4.0, ao qual, tem como objetivo medir o nível de maturidade da fábrica e o conhecimento sobre a Indústria 4.0, essas dimensões principais são a estratégia da organização, a fábrica inteligente, as operações inteligentes, os produtos inteligentes, os serviços de dados, e os fornecedores, na abordagem dos autores a maturidade da Indústria 4.0 pode ser avaliada a partir de 5 níveis são eles: nível 1, estranhos; nível 2 iniciantes; nível 3, experientes; nível 4, especialistas; e nível 5 desempenho superior.

Scremin et al (2018) em sua estrutura de adoção de modelo de maturidade reconhece um número significativo de trinta itens relacionados a maturidade divididos em três eixos a estratégia, a maturidade e o desempenho. E para avaliação, Scremin et al (2018) utiliza-se de oito indicadores quantitativos de maturaçãõ, e ainda apresenta uma série de exigências para cada um dos cinco estágios avaliados no nível 0, a Indústria 4.0 não é parte da estratégia de negócios; no nível 1, a Indústria 4.0 é parte da estratégia de negócios; já no nível 2, a Indústria 4.0 é parte da estratégia de negócio mas não



existe plano de ações; e o nível 3, a Indústria 4.0 é parte da estratégia de negócio somente com planos de curto prazo e longo prazo não são claros; e, por fim, no nível 4 a Indústria 4.0 é parte da estratégia de negócios e planos de curto e longo prazos são definidos.

Turkyilmaze Cebeci (2018) realizou um estudo de caso de níveis de maturidade da indústria 4.0 de fornecedores no setor de fabricação de produtos de linha branca. De acordo com os autores, um dos objetivos foi medir o nível de maturidade da fábrica e o conhecimento sobre a Indústria 4.0.

Westermann e Dumitrescu (2018) apresentam um modelo com foco principal relacionado a tecnologia de informação e comunicação, com aplicação prática de três etapas: dimensões de Integração vertical, integração horizontal, a conectividade, a comunicação em rede e a segurança. O modelo apresenta cinco níveis de avaliação da maturidade iniciando pelo primeiro nível de monitoramento, segundo nível de comunicação e análise, terceiro nível de interpretação e serviços, quarto nível de adaptação e otimização, e no quinto nível, pela cooperação na cadeia de valor.

O mesmo tema é tratado de forma diferente e em conjunto com modelos de maturidade, Basl e Doucek (2019) analisam os índices de prontidão disponíveis e os modelos de maturidade aplicados à Indústria 4.0, principalmente nos países da Europa. Com base nisso, os índices disponíveis e os modelos de maturidade são organizados nas camadas individuais de um meta modelo.

Identifica-se também que os autores Basl e Doucek (2019) apontam lacunas de locais ainda não descobertos para o desenvolvimento de modelos de maturidade existentes, bem como espaço para pesquisas mais detalhadas sobre a aplicação da Indústria 4.0 na teoria e na prática, são identificados como gaps de pesquisa neste artigo.

Castelo-Branco, Cruz Jesus e Oliveira (2019) propuseram de forma semelhante um estudo com a presença de fatores que caracterizam a indústria 4.0 tendo como base as fábricas da União Europeia. A análise também apresenta que existe uma infraestrutura digital combinada com as capacidades analíticas com a capacidade para lidar com grandes volumes de dados demonstrando a prontidão para indústria 4.0 em cada país da União Europeia.

Os temas abordados por Castelo-Branco, Cruz Jesus e Oliveira (2019), para análise contemplou: interconectividade representada pela conexão móveis à internet, velocidade; a interoperabilidade representada pela software ERP compartilhar informações, empresas cujos processos de negócios são automaticamente ligados a seus fornecedores e clientes; a virtualização quando a alta compra de serviços representado por software CRM e a análise de dados por qualquer fonte; e a transparência com a presença grande volume de sensores inteligentes na indústria, transmitindo dados de geolocalização e de dispositivos portáteis.

A partir da análise de conteúdo, os artigos selecionados apresentam relatos explícitos quanto a priorização de projetos na implementação da Indústria 4.0. Dessa forma acredita-se que esses modelos



ainda não atendem suficientemente a temática priorização de projetos Indústria 4.0 para suportar as empresas na tomada de decisão o que requer a necessidade de mais pesquisa relacionada a esse tema.

Para apresentar o resultado do estudo foi elaborado um quadro com todos os trabalhos analisados de maneira a sumarizar o estudo feito conforme pode ser observado na Figura 9 e Figura 10. As figuras apresentam os principais elementos relacionados aos modelos de maturidade e de prontidão a adoção de tecnologias habilitadoras na indústria 4.0.

Para futuros trabalhos pode-se considerar esta pesquisa para construir um modelo de priorização abrangente, combinando estudos teóricos e empíricos, pesquisa com especialistas em comparação com estudos de casos e assim obter uma maior segurança e solidez nos estudos futuros.

Figura 9

Demonstração dos principais elementos relacionados aos modelos de maturidade e de prontidão avaliados – Parte 1

Título	Referência	Dimensões avaliadas	Níveis de Maturidade	Análise crítica
Maturity assessment models: a design science research approach	(Metter, 2011)	Objetos e Tecnologia; Pessoas e Cultura; Processos e Estruturas	1. Escolha um modelo; 2. Prepare a implantação; 3. Aplicar o modelo; 4. Tomar ações corretivas	A principal contribuição apresentada no modelo se dá pelo processo decisório na escolha das tecnologias a serem adotadas, seguindo critérios e diversas características.
Connected Enterprise Maturity Model	(Rockwell Automation, 2014)	Infraestrutura de informações; Controle e dispositivos Redes; Políticas de segurança	1. Avaliação rede TI; 2. Controles seguros e atualizados; 3. Definiu e organizou o capital de dados; 4. Análises; 5. Colaboração	Nessa proposta os autores destacam que o ponto principal do relacionamento e troca de informações em uma cadeia digital é a formalização e segurança dos dados.
Guideline industrie 4.0 - Guiding principles for the implementation of industrie 4.0 in small and medium sized businesse	(Anderl et al, 2015)	Comprometimento dos envolvidos; Equipes interdisciplinares Facilitadores e ferramentas; Tecnologias de Produto; Tecnologias de Processos	1. Preparação; 2. Análise; 3. Criatividade; 4. Avaliação; 5. Implementação	Concentra na abordagem específicas da indústria 4.0 com instruções nos estágios propostos por meio passo a passo.
Towards Industry 4.0- standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems	(Weyer et al, 2015)	Produto; Processo; Integração da cadeia de valor	1. Linha de produção e processo inteligentes; 2. Conecta e produz; 3. Infraestrutura inteligente; 4. Solução a trabalhos manuais; 5. Arquiteturas de controles; 6. Integração vertical de sistemas	Os fatores críticos identificados pelos autores relaciona os sistemas de produção altamente modulares e interoperável por fornecedores críticos.
Industry 4.0: building the digital enterprise	(Geissbauer et al, 2016)	Modelos de negócios digitais; Digitalização de oferta de produtos e serviços; Digitalização e integração da cadeia vertical e horizontal; Dados e análise de dados Arquitetura de TI ágil; Segurança de conformidade; Organização e Cultura digital	1. Novato digital; 2. Integrador vertical; 3. Colaborador horizontal; 4. Campeão digital	O modelo além de avaliar as dimensões apresentadas dentre os nível propostos também apresenta etapas principais para o sucesso digital relacionando a estratégia, projetos, recursos de maneira contínua. Além de uma cadeia integrada digitalmente.
SIMMI 4.0 - A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0	(Leyh et al, 2016)	Integração Vertical; Integração Horizontal; Desenvolvimento de um produto digital; Critérios de tecnologia transversal	1. Nível básico de digitalização; 2. Digitalização interdepartamental; 3. Digitalização horizontal e vertical; 4. Digitalização completa; 5. Digitalização completa otimizada	Apresenta seu principal foco principal nos panoramas relacionados a tecnologia da informação. Também apresenta as atividades gerais que permitem transições de níveis.
Framework	(Qin et al, 2016)	Fábrica; Negócio; Processos; Clientes	1. Células automatizadas; 2. Sistemas automatizados; 3. Sistema flexível de fabricação; 4. Sistema integrado de fabricação; 5. Sistema de fabricação reconfigurável	Por meio de identificação das lacunas para evolução da empresa, os autores propõe a correção pelo uso das tecnologias da indústria 4.0 através de práticas de automação e inteligência digital.

Figura 10

Demonstração dos principais elementos relacionados aos modelos de maturidade e de prontidão avaliados – Parte 2

Título	Referência	Dimensões avaliadas	Níveis de Maturidade	Análise crítica
A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises	(Schumacher et al., 2016)	Estratégia; Liderança; Clientes; Produtos; Operações; Cultura; Pessoas; Governança; Tecnologia	Níveis de 1 a 5 de maneira genérica onde no primeiro nível 1 a total falta dos atributos necessários e o nível 5 contempla o estado da arte relacionado aos atributos requeridos.	São apresentadas diversas sugestões de itens a serem avaliados em cada nível da metodologia e em cada dimensão de análise, além de demonstra ser uma metodologia flexível por manter essas questões de sugestões como ponto de partida para as análises, podendo o avaliador incluir novas características.
A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies	(De Carolis et al., 2017)	Processos; Controle e Monitoramento; Tecnologia; Organização	1. Inicial; 2. Gerenciado; 3. Definido; 4. Integrado e Interoperável; 5. Orientado Digitalmente	Apresenta um bom nível de detalhamento a respeito de como são avaliados as 4 dimensões propostas, apesar de não apresentar detalhamento sobre as etapas de aplicação. No que tratando das dimensões cada uma delas tem sua avaliação em 4 processos diferentes seguidos de 18 sub-processos.
Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM	(Gökalp et al, 2017)	Administração de ativos; Gestão de aplicação; Controle de dados; Transformação do processo; Alinhamento organizacional	1. Incompleto; 2. Realizada; 3. Gerenciado; 4. Estabelecido; 5. Previsível; 6. Otimizado	Os autores buscam por meio do processo de melhoria e determinação de capacidades elaborar um modelo de maturidade considerando cinco dimensões e avaliando com base nos níveis de evolução.
Model-based Requirement Engineering (Gap Analysis)	(Kannan et al, 2017)	Tecnologias disponíveis; Parcerias com base de fornecedores Identificação de lacunas com base engenharia de requisitos	1. Seleção de fornecedores; 2. Modelagem de requisitos; 3. Análise de lacunas	O modelo apresenta uma abordagem com uso da engenharia de requisitos para a evolução e compressão da maturidade das empresas.
A smartness assessment framework for smart factories using analytic network process	(Lee et al, 2017)	Centralizada em instalações; Centralizada em compras e estoques; Grupos completos	1. Verificação; 2. Monitoramento; 3. Controle; 4. Otimização; 5. Autonomia	Demonstra uma estrutura de avaliação inteligente para as indústrias usando um processo de avaliação analítica com análise de decisões baseadas em multicritérios.
Acatech Industrie 4.0 Maturity Index	(Schuh et al., 2017)	Recursos; Sistemas de informação; Estrutura Organizacional Cultura	1. Informatização; 2. Conectividade; 3. Visibilidade; 4. Transparência; 5. Capacidade Preditiva; 6. Adaptabilidade	As dimensões estudadas pelo autor contém ainda 27 subdivisões de capacidades mensuráveis, possível de avaliar cada área dentro da empresa, além de tratar-se de uma metodologia bem completa nas dimensões e níveis de detalhes.
Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy	(Akdil et al, 2018)	Prontos e serviços inteligentes; Processos de negócios inteligentes; Estratégia e organização	0. Ausência; 1. Existência; 2. Sobreviveram; 3. Maturidade	Um modelo tridimensional que abrange os produtos, processos e as estratégias organizacionais.



Figura 11

Demonstração dos principais elementos relacionados aos modelos de maturidade e de prontidão avaliados – Parte 3

Título	Referência	Dimensões avaliadas	Níveis de Maturidade	Análise crítica
Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains	Asdecker e Felch (2018),	Compreensibilidade; Abrangência; Relevância; Consistência; Estrutura Sistemática; Detalhamento; Confiabilidade; Aplicabilidade	0. Não implementado; 1. Parcialmente implementado; 2. Maioria implementado; 3. Totalmente implementado	O destaque ao modelo é o agrupamento de modelos existentes e consolidação dos níveis e dimensões para avaliação de maneira quantitativa a maturidade da empresa.
Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector	(Bibby; Dehe (2018)	Fábrica do futuro tecnologiasl Pessoas e Cultura; Estratégias	1. Mínimo; 2. Desenvolvido; 3. Definido; 4. Excelente	A metodologia estabelece dentro as dimensões em análise 4 níveis de avaliação e para cada nível foi estabelecido um score para pontuação na análise de maturidade.
Rapidly Arriving Futures Readiness for Industry 4.0	(Botha, 2018)	Tecnologias; Comportamento externo; Comportamento interno; Eventos econômicos e sociais	1. Despreparado; 2. Andamento; 3. Pronto	O modelo apresenta uma avaliação da prontidão e maturidade por meio da interpretação quanto as dimensões em três níveis simplificados.
Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0	(Colli et al, 2018)	Governança; Tecnologia; Connectividade; Criação de valor Competencias	1. Nenhum; 2. Básico; 3. Transparente; 4. Consciente; 5. Autônomo; 6. Integrado	Demonstra de maneira ilustrativa por gráfico a evolução da maturidade dentre os níveis propostos a partir da abordagem 360 <i>digital maturity assessmen</i> .
Deloitte Digital Maturity Model	(Deloitte, 2018)	Cliente; Estratégia; Tecnologia; Operações; Organização e Cultura	Não apresenta em detalhes as escalas utilizadas para avaliação dos níveis relacionados a metodologia.	Por trata-se de uma demonstração de maneira genérica essa metodologia não possibilita uma melhor análise, devido a associação da metodologia aos serviços prestados pela empresa. No entanto, uma análise superficial observa-se tratar de uma metodologia bem detalhada.
Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0	(Ganzarain e Errasti, 2018)	Maturidade da Visão; O negócio; As ações	1. Inicial; 2. Gerenciado; 3. Definido; 4. Transformado; 5. Detalhado	O modelo descreve um caminho a ser percorrido para a digitalização das empresas. A partir de três dimensões relacionadas ao Mercado, Produto, Processo e Rede de Valor.
An overview of a smart manufacturing system readiness assessment	(Jung et al, 2018)	Organização; Tecnologias de informação; Tecnologia de conectividade	1. Maturidade Organizacional; 2. Maturidade da tecnologia de informação; 3. Desempenho e maturidade de gerenciamento; 4. Maturidade de conectividade de informação	A proposta de uma nova abordagem do sistema de manufatura inteligente, dentre as quatro dimensões.
Impuls Industrie 4.0 Readiness	(Lichtblau et al., 2018)	Funcionários Empregados; Estratégia e Organização; Fábrica Inteligente; Operações Inteligentes; Serviços Baseados em Dados	0. Outsider; 1. Iniciante; 2. Intermediário; 3. Experiente; 4. Expert; 5. Top Performer	Uma metodologia dividida em 6 dimensões acrescidas de 18 sub-dimensões de análises, demonstrando ser uma metodologia bem detalhada e apoiada pelos resultados obtidos em estudos de casos aplicados.

Figura 12

Demonstração dos principais elementos relacionados aos modelos de maturidade e de prontidão avaliados – Parte 4

Título	Referência	Dimensões avaliadas	Níveis de Maturidade	Análise crítica
Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry	(Lu; Weng, 2018)	Mercado; Produto; Tecnologia	Nível de maturidade mensurada em anos pelos autores.	A análise realizada pelos autores propõe que o modelo de maturidades relacionados a tecnologia tem forte correlação com a maturidade do mercado, assim o modelo propõe a partir da evolução em anos da maturidade do mercado relacionado a maturidade da tecnologia.
Towards an initiative-based industry 4.0 maturity improvement process: master drilling as a case study	(Maasz; Darwish, 2018)	Estratégia organizacional; Fábricas inteligentes; Processos inteligentes; Produtos inteligentes; Serviço de dados; Fornecedores	1. Estranhos; 2. Iniciantes; 3. Experientes; 4. Especialistas; 5. Desempenho superior	O modelo tem mais aproximação no nível da firma, considerando as dimensões associadas a empresa e os níveis relacionados a capacitação da empresa com relação ao uso e conhecimento das tecnologias.
Towards a framework for Assessing the Maturity of Manufacturing Companies in Industry 4.0 Adoption	(Scremin et al, 2018)	Estratégia; Maturidade; Desempenho	0. I4.0 não é parte da estratégia de negócios; 1. I 4.0 é parte da estratégia de negócios; 2. I 4.0 é parte da estratégia de negócio mas não existe plano; 3. I 4.0 é parte da estratégia de negócio somente com planos de curto prazo e longo prazo não são claros; 4. Indústria 4.0 é parte da estratégia de negócios e planos de curto e longo prazos são definidos	O modelo reconhece um número significativo de 30 itens relacionados a maturidade das empresas e os três eixos estratégico, maturidade e o desempenho, além de contemplar 8 indicadores para maturidade, entrega métodos quantitativos para futuras pesquisas.
Industry 4.0 maturity levels of suppliers in white goods manufacturing sector	(Turkyilmaz e Cebeci, 2018)	Indústria de Transformação; Automação industrial; Investimentos em tecnologias; Formação de equipe interna	Escala de 0 a 5 nos níveis de evolução com base nas hipóteses criadas	Os autores acreditam que uma avaliação simplificada com base em 5 níveis seria capaz de demonstrar o nível de maturidade da indústria de linha branca quanto as hipóteses criadas, relacionadas a tecnologias aplicadas na automação, a formação dos funcionários, os investimentos em tecnologias.
Maturity Model-based Planning of Cyber-Physical Systems in the Machinery and Plant Engineering Industry	(Westermann e Dumitrescu, 2018)	Integração Vertical; Integração Horizontal; Conectividade; Comunicação em Rede; Segurança	1. Monitoramento; 2. Comunicação e Análise; 3. Interpretação e Serviços; 4. Adaptação e Otimização; 5. Cooperação	O foco principal dessa metodologia está relacionada a tecnologia da informação e comunicação, além de contemplar informações e explicações relacionadas as 3 etapas de aplicação prática.
Metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of Industry 4.0	(Basl; Doucek, 2019)	Estratégia; Liderança; Cultura; Pessoas; Tecnologia	1. Inicial na sociedade; 2. Área da sociedade; 3. Um setor da sociedade; 4. Uma empresa como todo; 5. Uma área dentro da empresa; 6. Dimensões dentro da área da empresa; 7. Subdimensões da área empresarial	O metamodelo propostos contempla a análise de produtos digitalizados, processos digitalizados, e uma gestão digital nas dimensões de análise, dentre os níveis de maturidades propostos.
Assessing industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union	(Castelo Branco, Cruz Jesus e Oliveira, 2019)	Interconectividade; Interoperabilidade; Transparência; Informação	Não estabelece índices de maturidade e sim uma correlação entre os resultados da pesquisa.	Os autores avaliam de maneira macro a aplicabilidade e maturidade dos big data em diferentes países por meio da correlação de tecnologias aplicadas, assim associando os países em diferentes clusters em função da maturidade identificada.

5 Conclusões

Ao estudar os diferentes modelos de maturidade e prontidão foi possível observar a importância do tema relacionado a Indústria 4.0. Foi percebida uma evolução gradativa nos trabalhos científicos ao longo dos anos, demonstrando o maior interesse pelos assuntos relacionados a Indústria 4.0 e as tecnologias envolvidas nesse novo cenário mundial.

O presente trabalho buscou e apresentou de maneira consistente um levantamento substancial a respeito do tema, e pelo uso das ferramentas de análise de redes possibilitou demonstrar os autores e pesquisas mais relevantes. A busca por saturar o tema na análise de conteúdo com o objetivo de conseguir abranger todos os aspectos tratados até o momento, nesse aspecto possibilitou identificar que a priorização de projetos relacionados a indústria 4.0 ainda não se tornou foco. No entanto, demonstra ser crucial as escolhas mais adequadas para as empresas evoluírem rumo a quarta revolução industrial.

Os elementos e fatores, tanto no nível de mercado quando no nível da empresa, encontrados são a base para uma melhor escolha na adoção das tecnologias. Dentre as pesquisas, a correta escolha da tecnologia pode nortear o sucesso de sua implementação pelas empresas, associando a sistemas de troca de informações nas cadeias digitais formalizadas e com a garantia da segurança de dados.

Ao observar na prática as questões críticas da cadeia de suprimento tem maior relação com a modularidade e interoperabilidade das indústrias, assim as escolhas, dificuldades e os fatores de sucesso precisam estar claramente alinhado com as estratégias adotadas pela empresa, juntamente com a adequada formação e capacitação da força de trabalho, em sinergia com as tecnologias a serem implementadas.

Mesmo havendo a intenção ou um nível de prontidão das empresas, o caminho para um nível elevado de maturidade requer mudanças significativas nas empresas e pode levar diversos parceiros da cadeia de suprimentos a também se adequarem o que por se tratar de múltiplas e diferentes visões estratégicas em cada empresa, pode-se levar algum tempo, só assim existir uma sinergia entre produtos, processos, e as estratégias da organização e sua cadeia de suprimentos.

Esse estudo é apenas o início de uma pesquisa relacionada a priorização de projetos para Indústria 4.0. A contribuição de novas pesquisas pode possibilitar o avanço de proposição de modelos de priorização de projetos que possam abarcar em grande parte as dimensões aqui apresentadas.

Pode-se identificar limitações no estudo realizado nos poucos achados nas pesquisas a respeito do tema em questão, por tratar-se de um assunto emergente, os primeiros estudos estão surgindo, e esse trabalho pode ser usado como mais uma referência para futuros pesquisadores.



REFERÊNCIAS

- Anderl, R., Picard, A., Wang, Y., Fleischer, J., Dosch, S., Klee, B., et al. (2015). Guideline industrie 4.0- guiding principles for the implementation of industrie 4.0 in small and medium sized businesses. VDMA Forum Industrie, 4.
- Alacantara, D., Martens, M. L.(2019). Technology Roadmapping: a systematic review of the literature focusing on models. Technological Forecasting and Social Change,138,127-138.
- Araújo, C.A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. Em Questão,12.
- Asdecker, B., Felch, V. (2018). Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. Journal of Modelling in Management. 13, 840-883.
- Akdil KY., Ustundag A., Cevikcan E. (2018). Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy. Industry 4.0: managing the digital transformation. Cham: Springer, 61–94.
- Basl, J., Doucek, P. (2019). A Metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of Industry 4.0. Information, 10(3), 89.
- Bibby, L., Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. Production Planning & Control, 29(12),1030-1043.
- Botha, A. P. (2018). Rapidly arriving futures: future readiness for Industry 4.0. South African Journal of Industrial Engineering, 24-26.
- Castelo-Branco, L., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T. (2019). Assessing industry 4.0 readiness in



manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, 107, 22-32.

Colli, M., Madsen, O., Berger, U., Møller, C., Waehrens, B.V., Bockholt, M. (2018). Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. *IFAC-PaperOnLine*, 51(11), 1347-1352.

DeCarolis, A., Macchi, M., Negri, E., Terzi, S. (2017). A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. In: *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Cham. Springer, 13- 20.

Deloitte. (2018). *Digital Maturity Model: Achieving digital maturity to drive growth*. New York.

Ganzarain, J., Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119-1128.

Geissbauer, R., Vedso, J., Schrauf, S. (2016). *Industry 4.0: building the digital Enterprise*. Global Industry 4.0 Survey, n.2016. Recuperado de <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0>

Gökalp, E., Sener, U., Eren, PE. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination*, 128, 42.

Jung, K., Choi, S., Kulvatunyou, B., Cho, H., Morris, K. (2018). A reference activity model for smart factory design and improvement. *Production Planning and Control*, 28(2), 108–122.

Kannan, SM., Suri, K., Cadavid, J., Barosan, I., Brand, MVD., Alferez, M., Gerard, S. (2017). Towards industry 4.0: Gap analysis between current automotive MES and industry standards using



model-based requirement engineering.n.2017 IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW), Gothenburg, 29-35.

Lee, J., Jun, S., Chang, T.W., Park, J. (2017). A smartness assessment framework for smart factories using analytic network process. *Sustainability*, 9(5), 794-808.

Leyh, C., Schäffer, T., Ble, K., Forstehäusler, S. (2016). SIMMI 4.0 – A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0. Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems. Gdansk, Poland, 11-14, 1297–1302.

Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., et al. (2018). IMPULS industrie 4.0-readiness. Aachen-koln, 30, 201.

Lu, H., Weng, C.L. (2018). Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 133, 85-94.

Maasz, G. J., Darwish, H. (2018). Towards an initiative-based industry 4.0 maturity improvement process: master drilling as a case study. *South African Journal of Industrial Engineering*, 29, 92-107.

Mettler, T. (2011). Maturity assessment models: A design science research approach. *International Journal of Social Systems and Scientific*, 3, 81–98.

Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D., Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing &



Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs).
Journal of Manufacturing Systems, 49,194-214.

Piccarozzim, M.; Aquilani, B.; Gatti, C. Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review. Sustainability, v.10, n.10: 3821, 2018.

Qin, J., Liu, Y., Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. Procedia Manufacturing, 52, 173–178.

Reza, H., Ray, Z., Xu, X. (2018). A survey study on industry 4.0 for New Zealand manufacturing. Procedia Manufacturing, 26, 49-57.

Rockwell Automation. (2014). The connected enterprise maturity model.n.2014. Recuperado de <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/ciewp02>.

Sacomano, J. B., Gonçalves, R. F., Silva, M. T., Bonilla, S. H., Sátyro, W. C. (2018). Indústria 4.0 Conceitos e fundamentos, Editora Blucher, São Paulo.

Schuh, G., Aanderl, R., Gausemeier, J., Hompel, M., Wahlster, W. (2017). Industrie 4.0 maturity index. Recuperado de http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech.pdf

Schumacher, A., Erol, S., Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. Procedia Cirp, 52, 161-166.

Seybert, A., et al. (2017). Blended simulation progress testing for assessment of practice readiness.



Journal of Pharmacy Education, 81(1), 14.

Scremin, L., Armellini, F., Brun A., Solar-Pelletier L., Beaudry C. (2018). Towards a framework for assessing the maturity of manufacturing companies in industry 4.0 adoption. Analyzing the Impacts of Industry 4.0 in Modern Business Environment, 224, 54.

Tasca, J. E., Ensslin, L., Ensslin, S. R., Alves, M.B.M. (2010). An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. Journal of European Industrial Training, 34(7), 631–655.

Thomé, A.M.T, Scavarda, L.F., Scavarda, A., Thomé, F.E.S. (2016). Similarities and contrasts of complexity, uncertainty, risks, and resilience in supply chains and temporary multi-organization projects. International Journal of Project Manager, 34, 1328–1346.

Tinmaz, H., Hwa Lee, J. (2019). A Preliminary Analysis on Korean University Students' Readiness Level for Industry 4.0 Revolution. Participatory Educational Research, 6, 70-83.

Turkyilmaz, E., Cebeci, U. (2018). Industry 4.0 maturity levels of suppliers in white goods manufacturing sector. International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 9(10), 964-969.

Van Eck, N. J., Waltaman, L. (2017). Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. Scientometrics, 111(2), 1053-1070.

Vanti, N. A. P. (2002). Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. Ciência da Informação, Brasília, v. 31, n. 2, p. 152-162.



Westermann, T., Dumitrescu, T. (2018). Maturity model-based planning of cyber-physical systems in the machinery and plant engineering industry. Proceedings of International Design Conference, DESIG, 6, 3041-3052.

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., Gorecky, D. (2015). Towards industry 4.0: standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 579-584. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>