

MODELOS DE MATURIDADE PARA AVALIAR O DESENVOLVIMENTO DE PMES DIANTE DA INDÚSTRIA 4.0: REFLEXÕES PARA UMA AGENDA DE PESQUISA¹

Alexsandra Matos Romio²

Debora Bobsin³

<http://dx.doi.org/10.1590/1413-2311.406.128297>

RESUMO

O objetivo desta pesquisa consiste em apresentar a agenda futura sobre os modelos de maturidade que avaliam o desenvolvimento de PMEs e sua aptidão para adaptar-se à Indústria 4.0. Para isso, realizou-se uma revisão de literatura, por meio de bibliometria, a fim de identificar os potenciais elementos da Indústria 4.0 que podem contribuir com as PMEs; e as principais dificuldades que serão enfrentadas por esses negócios perante as possíveis transformações apresentadas pela era da digitalização. Desse modo, foram compilados dados dos 700 trabalhos que a base retornou e, após a aplicação dos filtros definidos para este estudo, 375 artigos foram lidos em profundidade para desenvolver o escopo da presente pesquisa. Os resultados elencam barreiras, tais como o fato de os modelos existentes não atenderem ao contexto das PMEs e às oportunidades, já que PMEs possuem dificuldades em explorar possíveis benefícios. Além disso, destacam-se os determinantes para implementações bem-sucedidas, de modo a contemplar um modelo sistêmico para a Indústria 4.0 em PMEs, assim como os pontos que devem ser considerados para compor novos modelos dedicados para avaliar

¹ Recebido em: 30/11/2022; ressubmetido em 30/01/2024 e em 01/05/2024; aceito em: 23/05/2024.

² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM), Departamento de Ensino; Santa Maria - RS (Brasil); <https://orcid.org/0000-0002-8001-065X>; ale.matosr@gmail.com.

³ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Centro de Ciências Sociais e Humanas, Departamento de Ciências Administrativas; Santa Maria - RS (Brasil); <https://orcid.org/0000-0001-6010-3958>; deborabobsin@gmail.com.

a maturidade de PMEs em relação à Indústria 4.0, como as estratégias de longo prazo, e a sugestão de uma agenda de estudos futuros.

Palavras-chave: Modelo de Maturidade. Avaliação de Maturidade. Pequenas e Médias Empresas. Indústria 4.0.

MODELOS DE MADUREZ PARA EVALUAR EL DESARROLLO DE LAS PYMES HACIA LA INDUSTRIA 4.0: REFLEXIONES PARA UNA AGENDA DE INVESTIGACIÓN

El objetivo de esta investigación es presentar la agenda futura sobre modelos de madurez que evalúen el desarrollo de las pymes y su capacidad de adaptación a la Industria 4.0. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica, utilizando bibliometría, con el fin de identificar los elementos potenciales de la Industria 4.0 que pueden aportar a las PYMEs y las principales dificultades que enfrentarán estos negocios ante las posibles transformaciones que presenta la era de la digitalización. De esta manera, se recopilaron datos de los 700 trabajos que arrojó la base de datos y, tras aplicar los filtros definidos para este estudio, se leyeron en profundidad 375 artículos para desarrollar los alcances de esta investigación. Los resultados enumeran las barreras, como el hecho de que los modelos existentes no se adaptan al contexto de las PYMEs, y las oportunidades, ya que las PYMEs tienen dificultades para explorar posibles beneficios. Además, se destacan los determinantes para implementaciones exitosas, con el fin de contemplar un modelo sistémico para la Industria 4.0 en las PYMEs, así como los puntos que deben ser considerados para componer nuevos modelos dedicados a evaluar la madurez de las PYMEs en relación a la Industria 4.0, tales como como estrategias de largo plazo, y la sugerencia de una agenda para futuros estudios.

Palabras clave: Modelo de Madurez. Evaluación de Madurez. Pequeñas y Medianas Empresas. Industria 4.0.

MATURITY MODELS TO ASSESS SMES TOWARDS INDUSTRY 4.0 DEVELOPMENT: REFLECTIONS FOR A RESEARCH AGENDA

The research aims to present a future agenda for maturity model that assess SMEs ability to adapt to the Industry 4.0 development. To this end, a literature review was carried out, using bibliometrics to identify potential elements of Industry 4.0 that can contribute to SMEs, and the

main difficulties that will be faced by these businesses in face of the transformations presented by digitalization era. In this way, data compiled from database returned 700 works, and, after applying filters defined to this study, 375 articles were read in depth to develop the research scope. The results list barriers, such as the fact that existing models do not meet SMEs context, and the opportunities since SMEs have difficulties in exploring possible benefits. Furthermore, there are highlighted determinants for successful implementations, in order to contemplate a systemic model for Industry 4.0 in SMEs as well as the points that must be considered to compose new dedicated models to assess SMEs maturity with respect Industry 4.0, such as long-term strategies, and the suggestion of an agenda for future studies.

Keywords: Maturity Model. Maturity Assessment. Small and Medium Enterprises. Industry 4.0.

INTRODUÇÃO

Em 2011, na Alemanha, o Fórum Econômico Mundial lançou a proposta da Indústria 4.0 com a finalidade de fomentar e preparar as organizações para as inovações industriais e o novo paradigma de manufatura inteligente, que é mobilizada pela IoT (Internet das Coisas), ou seja, por dispositivos e máquinas que se comunicam entre si. Esse vínculo ocorre por meio de uma rede interconectada vertical e horizontalmente, que é formada de elementos autônomos capazes de realizar ações e controlar-se sem a intervenção humana (Barata; Cunha, 2017; Culot *et al.*, 2020; Schwab, 2016; Souza *et al.*, 2020).

Essa transformação digital, embora apresente oportunidades como diversificação de mercado e lucros maiores, impacta os modelos de negócios e sugere perspectivas desafiadoras para as estratégias organizacionais, uma vez que o horizonte de possibilidades, a partir da conectividade, é disruptivo. Isso faz com que as empresas não tenham opção sobre adaptar-se, e essa transformação garantiria sua sobrevivência. Uma das principais mudanças é a oportunidade de oferecer produtos customizados em larga escala, isso significa que as empresas que oferecem produtos provavelmente adaptarão seus modelos de negócios para oferecer serviços a partir dos seus produtos, com base na “servitização” e no *Big Data Analytics*. Além disso, os clientes também estão mais conectados, pesquisando os melhores preços e produtos e trocando informação a partir das mídias sociais, o que torna a avaliação sobre as empresas algo coletivo e que eleva a exigência (Culot *et al.*, 2020; Santos-Neto; Costa, 2019; Schwab, 2016; Trotta; Garengo, 2019; Wiesner *et al.*, 2018).

Tendo isso em vista, as mudanças promovidas por esses novos modelos de negócio implicam desafios para todos os tipos de organizações. No entanto, para as pequenas e médias empresas (PMEs), as dificuldades são ainda mais complexas. Isso porque, uma vez que as PMEs aderiram menos às mudanças da Terceira Revolução Industrial, como a automação e o acesso à internet, sua gestão é mais orgânica e está mais voltada para a perspectiva operacional do que para a estratégica. Além disso, possuem funcionários com conhecimentos mais abrangentes e menos especialista em focos específicos, assim como recebem as informações de um nicho pequeno de clientes e fornecedores, dando pouca atenção às alterações do mercado. Desse modo, a mudança do modelo de negócios inclui pivotar dos dispositivos da Segunda Revolução Industrial direto para a Quarta Revolução Industrial (Kolla; Minufekr; Plapper, 2019; Trotta; Garengo, 2019). Sendo assim, modelos que autoavaliem a maturidade do nível de desenvolvimento industrial podem contribuir para que as PMEs compreendam em que estágios se encontram e identifiquem os desafios a serem enfrentados para que possam usufruir plenamente de novas tecnologias.

Os modelos de maturidade (MMs) são utilizados no campo dos sistemas de informação desde a década de 1970 para controle de desempenho de projetos de *softwares*. A partir dos anos 2000, foram incorporados em outras áreas de estudo. Com isso, recentemente, em função da difusão dos conceitos e das demandas para a transformação digital, promovida pela Quarta Revolução Industrial, estão sendo adotados como ferramenta para medir a maturidade de empresas diante dos novos cenários disruptivos apresentados pela era de conexão. Dessa forma, os MMs estão entre os métodos utilizados para avaliar a inserção das tecnologias da Indústria 4.0 nas organizações (Adrodegari; Sacconi, 2020; Andriani *et al.*, 2018; Santos-Neto; Costa, 2019; Souza *et al.*, 2020).

A partir de uma abordagem bibliométrica, buscou-se verificar quais os principais MMs estão sendo utilizados e sugeridos pela comunidade científica, para apoiar PMEs na implementação dos dispositivos e avaliação da maturidade dos pequenos negócios, diante das mudanças introduzidas pelos conceitos da Indústria 4.0. Também, observou-se quais são os principais indicadores para a avaliação de maturidade, a partir do destaque dos itens e subitens mais proeminentes. Isso porque os conceitos da Indústria 4.0 são relativamente novos e a análise bibliométrica permite obter uma observação em profundidade sobre as pesquisas em determinado campo. Dessa forma, pretende-se apresentar a agenda de pesquisa futura contendo os modelos de maturidade que avaliam o avanço da aptidão de PMEs na adoção da nova era industrial. Com isso, investiga-se: quais são os MMs utilizados amplamente para avaliar a

maturidade na implantação de Indústria 4.0 em PMEs e quais são os seus principais indicadores de maturidade que apoiam a avaliação?

O estudo está estruturado em quatro seções, além desta introdução, que aborda a temática da pesquisa, sua problemática e destaca sua importância. A primeira seção apresenta os modelos de maturidade e a Indústria 4.0 na perspectiva dos pequenos negócios; a segunda, detalha o método e o caminho que conduziu a realização da presente pesquisa; a terceira, descreve a discussão e a análise dos resultados; e na quarta e última seção, encontram-se as considerações finais da pesquisa, suas contribuições, limitações e as perspectivas para futuros trabalhos.

1 REFERENCIAL

Na presente seção, são revisados conceitos e aspectos inerentes aos modelos de maturidade, a sua aplicação à Indústria 4.0 e como as PMEs vêm sendo desafiadas pelas tecnologias da Indústria 4.0.

1.1 Modelos de maturidade aplicados à Indústria 4.0

O primeiro MM sobre recursos computacionais, atribuído a Gibson e a Nolan, em 1974, continha quatro níveis, quais sejam: iniciação, expansão, formalização e maturidade para os recursos computacionais em organizações. Em 1986, o modelo de Gibson e Nolan foi reformulado por Carnegie Mellon, no *Software Engineering Institute*. Após ganhar visibilidade, recebeu a função de capacidade, além de princípios e práticas da qualidade total, tornando-se o CMM - *Capability Maturity Model* (Modelo de Maturidade em Capacitação) (Adrodegari; Saccani, 2020; Andriani *et al.*, 2018; Santos-Neto; Costa, 2019; Souza *et al.*, 2020). Em 2001, o CMM passou por um programa de integração e tornou-se o CMMI - *Capability Maturity Model Integration* (Modelo de Capacidade e Maturidade Integrado), que descreve como evoluir de um processo imaturo para maduro em todas as suas etapas necessárias (Santos-Neto; Costa, 2019; Souza *et al.*, 2020).

A partir do CMMI, os MMs foram utilizados por diversas áreas, pois além de avaliarem aspectos específicos, contribuem para guiar o desenvolvimento de cada área onde são adotados. Dessa forma, novas análises de maturidade foram sugeridas em relação aos mais diversos temas que se queira explorar e analisar (Santos-Neto; Costa, 2019; Souza *et al.*, 2020). Além disso, as

organizações também costumam utilizar modelos prontos, já validados e testados, em geral, sugeridos por consultorias (Basl; Doucek, 2019; Depaoli; Za; Scornavacca, 2020; Santos; Martinho, 2019; Trotta; Garengo, 2019). A maturidade pode ser avaliada qualitativamente, por meio de níveis que são associados a entidade; e quantitativamente, por meio de valores numéricos para os objetivos (Santos-Neto; Costa, 2019).

Conceitualmente, os MMs são artefatos organizados em uma escala progressiva, o que permite que a transição entre os níveis seja mensurável, garantindo a possibilidade de avaliação pela própria organização para definir em qual nível de maturidade ela se encontra. Os níveis são divididos em subcategorias ou dimensões e em cada dimensão estão disponíveis itens associados a perguntas, o que permite o detalhamento das subcategorias (Maier; Schmiedbauer; Biedermann, 2020; Santos; Martinho, 2019; Wagire *et al.*, 2020). Quanto mais detalhados, mais os MMs contribuem como guia no processo de autoavaliação da área de aplicação.

O nível de maturidade descreve a situação de perfeição, ou seja, do estado de estar completo, em relação ao que se está medindo sobre o objetivo principal. Dessa forma, quanto mais madura é uma área no aspecto avaliado, melhor ela progride e mais bem adaptada ela está (Basl; Doucek, 2019; Depaoli; Za; Scornavacca, 2020; Gökalp; Sener; Eren, 2017). Então, ao avaliar seu nível de maturidade sobre a implementação da Indústria 4.0, caso uma PME esteja em um nível avançado, ou ainda, se estiver em níveis mais baixos, mas usar a avaliação como guia para se desenvolver, essa empresa terá mais chances de manter-se ativa no mercado.

Sendo assim, os modelos de maturidade podem auxiliar na tomada de decisão empresarial. Além disso, o MM possibilita que a empresa trace novas trajetórias ao longo dos seus estágios de maturação, pois a avaliação pode ir ocorrendo ao longo do processo (Basl; Doucek, 2019; Wagire *et al.*, 2020; Wiesner *et al.*, 2018). Desse modo, os MMs são boas ferramentas para que as PMEs avaliem suas estratégias de negócios.

No que tange à economia digital, a avaliação de maturidade da Indústria 4.0, por meio de MMs, é baseada na hipótese de que a transformação para a nova era digital é uma empreitada evolutiva. Para além disso, o percurso é considerado um processo de estágios sequenciais em que a complexidade vai se ampliando com o desenvolvimento. Para isso, uma série de atividades de gestão e decisão embasam a jornada (Colli *et al.*, 2018; Igartua; Retegi; Ganzarain, 2018; Santos; Martinho, 2019; Wagire *et al.*, 2020; Wiesner *et al.*, 2018).

Os MMs clássicos, que são amplamente adotados para a era digital, serão discutidos na seção de resultados, pois foram listados conforme os autores que os citaram e elencaram-se as características grifadas por esses autores. Além disso, serão observados os modelos de

maturidade mais citados e utilizados para compor outros modelos, uma vez que eles são fundamentais para o entendimento do campo de pesquisa e auxiliam na elaboração de novos modelos, pois tornam-se saliente os padrões entre eles, como a disposição dos níveis e das dimensões, assim como as convergências e divergências. Também serão analisados os indicadores mais comuns no processo de avaliação de maturidade para a Indústria 4.0.

Em relação às PMEs, a adoção de novos modelos de negócios digitais é um obstáculo, com isso, o MM para pequenos empreendimentos deve apoiar a estrutura organizacional, o que implica ser adaptável e possibilitar agilidade na tomada de decisões. No entanto, os MMs atuais possuem uma abordagem genérica, são lineares e tecnocentrados, o que dificulta a difusão em pequenos negócios. Além disso, ignoram as especificidades, a complexidade e as capacidades organizacionais que são singulares em PMEs (Depaoli; Za; Scornavacca, 2020; Wiesner *et al.*, 2018).

Dessa perspectiva, observa-se a importância em verificar o panorama das pesquisas sobre medida de maturidade da Indústria 4.0, pois mundialmente as PMEs são consideradas parte substancial da estrutura econômica dos países, uma vez que representam uma parcela significativa da geração de receitas, além de serem socialmente importantes, já que produzem renda e empregos. Além disso, as mudanças disruptivas inseridas através da perspectiva da Indústria 4.0 são complexas para os pequenos empreendedores; e esses negócios precisam de apoio e fomento para o processo de adaptação, conforme discutido no próximo tópico desta seção (Dossou, 2018; Masood; Sonntag, 2020; Mittal; Romero; Wuest, 2018; Nguyen; Luu, 2020; Orzes *et al.*, 2018; Wiesner *et al.*, 2018).

1.2 Indústria 4.0 no contexto de PMEs industriais

As organizações que buscam implementar a Indústria 4.0 não seguem um protocolo e costumam adotar pontos de partida diferentes. Independentemente de onde começam, de quais dispositivos adotam ou do setor em que estão, as empresas tendem a beneficiar-se das tecnologias da era da digitalização. No entanto, a empresa precisa avaliar se está preparada para essa empreitada, pois trata-se de uma escolha estratégica e crítica, que vai mudar estruturalmente os sistemas internos, assim como o posicionamento no mercado (Narula *et al.*, 2020).

A digitalização dos processos de produção e de serviços apresenta muitas oportunidades para as PMEs industriais, uma vez que promovem colaboração mútua e vantajosa entre

empresas, já que a circulação de dados e informações estará mais ativa e as estratégias de melhorias e desenvolvimento pode ser coletiva. Além disso, essa perspectiva permite implementar a aceleração do fluxo de informações entre as empresas, o que as apoia na compreensão do mercado. Isso contribui com o ajuste do modo da oferta de serviços e melhora a resposta aos clientes. Se as PMEs industriais tomam para si a análise de dados e com isso passam a interpretar o ambiente em que estão inseridas, podem reduzir o tempo de lançamento de produtos e economizar custos de pesquisa e desenvolvimento (Narula *et al.*, 2020; Tortorella; Giglio; Dun, 2019).

Um das tecnologias da Indústria 4.0 é a utilização de dados massivos para obter percepções com base na aquisição, organização, análise e tomada de decisão por meio desse enorme volume de dados. Isso proporciona para as PMEs industriais a compreensão dos seus processos internos com base nas necessidades do cliente, o que permite atender seu público com mais qualidade e eficiência. Além disso, haverá redução dos custos e dos recursos (Narula *et al.*, 2020; Santos; Martinho, 2019).

A análise dos autores, sob o prisma das PMEs industriais, será discutida na seção de resultados, em que também serão elencadas as principais barreiras e oportunidades citadas pelos trabalhos analisados. Além disso, destaca-se os determinantes para implementações bem-sucedidas e os pontos que devem ser considerados para compor modelos para avaliar a maturidade de PMEs em relação à Indústria 4.0.

2 MÉTODO

Nesta seção, são descritos o método e os procedimentos realizados para que se atenda ao objetivo do trabalho, qual seja, compor uma agenda de pesquisa sobre os modelos de maturidade que avaliam o desenvolvimento de pequenas e médias empresas para a preparação e o desenvolvimento da Indústria 4.0 no seu modelo de negócios, ou seja, em relação à aptidão para adaptar-se à Quarta Revolução Industrial. Como método empregou-se a revisão sistemática de literatura (Hassan; Haddawy; Zhu, 2013; Pilkington; Meredith, 2009).

Esse método foi escolhido por possibilitar reflexões por meio da síntese do conhecimento acumulado em um determinado conjunto de estudos, o que permite desenvolver premissas fundamentadas, utilizando-se de um processo rigoroso e reprodutível que permite identificar lacunas de pesquisa. A análise bibliométrica também é relevante para indicar estratégias e estudos futuros, localizando os principais indicadores para a avaliação de

maturidade, a partir do destaque dos itens e subitens proeminentes (Hassan; Haddawy; Zhu, 2013; Pilkington; Meredith, 2009). Sendo assim, esse método foi escolhido porque possibilita uma visão holística dos trabalhos que já foram publicados no campo, permitindo uma perspectiva ampla sobre o tema.

A revisão de literatura ocorreu por meio da sistematização bibliométrica e abordou qualitativamente o tema, já que o estudo está relacionado com o significado da pesquisa nas condições da vida real e representa a opinião e a perspectiva das pessoas, sob o olhar de novos fenômenos. Além disso, o estudo abrange algumas condições contextuais que permeiam os ambientes das PMEs e da lógica da Indústria 4.0 e pode fazer contribuições relevantes em relação a conceitos emergentes, oportunizando o desenvolvimento de novos conceitos (Yin, 2016).

Buscou-se analisar, observar e sintetizar uma amostra de literatura, que foi representativa sobre o tema abordado. Com isso, a coleta de dados na base *Web of Science* (WoS) foi realizada no mês de abril de 2022; e não houve corte temporal para a busca no banco de dados, posto que o objetivo era a amplitude da amostra. Além disso, havia a intenção de verificar a evolução do tema, desde que as palavras-chave começam a aparecer nas pesquisas. Desse modo, a coleta incorporou o panorama desde o início da base (1945) até abril de 2022. Para isso, a pesquisa na base de dados WoS foi delineada utilizando os cinco passos da revisão de literatura proposto por Vouga e Amatucci (2015) e a sequência sugerida por Medeiros *et al.* (2015) para obtenção dos dados. Assim, visa abordar de maneira integrada os materiais pesquisados por meio de *frameworks* e perspectivas (Vouga; Amatucci, 2015).

Alinhando a pesquisa às etapas sugeridas por Medeiros *et al.* (2015), iniciou-se com a definição do objetivo, cujo propósito é analisar o panorama de pesquisa atual em relação aos modelos de maturidade, Indústria 4.0 e PMEs, contemplando os principais conceitos e definições desses temas. Para isso, optou-se por fazer três pesquisas diferentes na base de dados WoS, combinando aos pares os três temas através dos termos agregadores AND e OR. Então, as buscas foram realizadas em três partes: i) “‘*Industry 4.0*’ AND (*SME OR Small Business OR Small and Medium-sized enterprises*)”, obtendo-se 164 resultados; ii) “‘*maturity model*’ AND (*SME OR Small Business OR Small and Medium-sized enterprises*)”, com 437 resultados; e iii) “‘*Industry 4.0*’ AND *maturity model*”, em que se localizaram 99 resultados.

A base de dados escolhida foi a plataforma WoS, pois, de acordo com a Clarivate, todos os artigos e todas as referências citadas de todos os periódicos são indexados, o que a torna uma das redes mais abrangentes e completas para pesquisas internacionais. Além disso, a pesquisa

foi feita por “tópico”, o que implica em buscas por meio dos títulos dos trabalhos, seus resumos e suas palavras-chave.

Em relação ao uso de ferramentas de anotações, utilizou-se o *software Excel*® da *Microsoft*® para indexação dos artigos. Para a leitura e organização dos trabalhos, serviu-se do *software Mendeley* e, desse modo, o arquivo BibTeX foi baixado da base de dados e inserido no sistema. Nos *softwares*, os artigos foram selecionados por título, autor, palavras-chave e resumo. A revisão sistemática foi organizada a partir da planilha que sistematizou os trabalhos a serem estudados com destaque nos indicadores bibliométricos mais pertinentes, como autores, ano de publicação, palavras-chave, resumo e periódico. Os gráficos foram disponibilizados pela própria base de dados. Para análise, elaborou-se um sistema de cores com os resultados e, finalmente, foi apresentado um relato.

A pesquisa resultou em um total de 700 trabalhos. Desses trabalhos, um título foi publicado em dois eventos diferentes; além disso, 20 artigos apareceram nos três grupos de pesquisa e, com isso, 40 estudos estavam sombreados, o que resultou em 660 trabalhos mantidos na planilha para leitura de resumos. Após a leitura dos resumos, verificou-se que 375 trabalhos iriam contribuir para a compreensão das barreiras, oportunidades e determinantes para implementação dos itens da Indústria 4.0 em PMEs industriais, portanto, esse conjunto de estudos foi baixado da base e analisados em profundidade. Com isso, o total de 700 estudos correspondem a análise do estado da arte escopo dessa pesquisa, enquanto os 375 específicos apoiaram na localização dos detalhes e elementos principais.

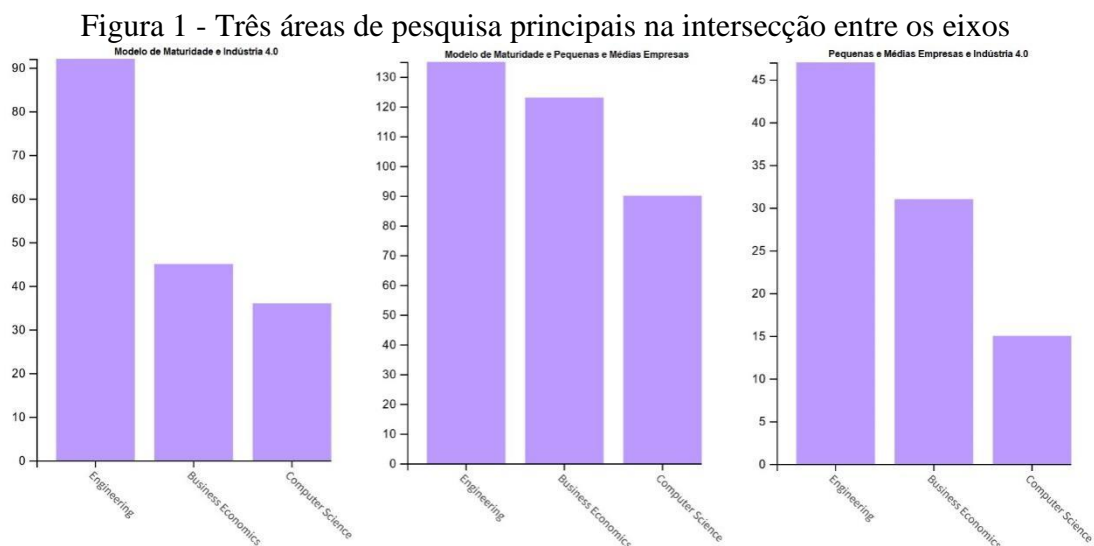
Desse modo, na próxima seção, discutem-se os principais resultados obtidos com a exploração bibliométrica. Para isso, localizaram-se as principais áreas de pesquisa contendo a temática de modelos de maturidade, pequenas e médias empresas e Indústria 4.0. Além das áreas de pesquisa, os principais autores e os anos de publicação também foram analisados, assim como as principais regiões onde as pesquisas estão sendo publicadas, conforme a base de dados da plataforma *Web of Science* (WoS).

Para além, procurou-se compor os principais indicadores que sugerem a maturidade de PMEs na Indústria 4.0, assim como as maiores dificuldades enfrentadas por essas empresas para fazerem parte desse novo cenário tecnológico; e também os principais benefícios que podem agregar valor às PMEs que aderirem aos requisitos da Indústria 4.0.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção é composta pelos principais aspectos de observação bibliométrica localizados nos 700 trabalhos observados e que compõem a base de dados da plataforma WoS. Sinaliza-se que os artigos estão divididos em três eixos de intersecção de busca, quais sejam: i) modelo de maturidade e Indústria 4.0; ii) modelo de maturidade e PMEs; e iii) PMEs e Indústria 4.0.

Com isso, as três principais áreas de pesquisa onde estes eixos estão inseridos são Engenharia, Economia Empresarial e Ciência da Computação, conforme Figura 1. Além delas, na Tabela 1, observa-se que muitas áreas de ciências básicas como Química e Matemática estão realizando pesquisas nesses eixos, assim como áreas de negócios e tecnologias.



Fonte: plataforma *Web of Science* (WoS). Editada e reunida pelas autoras (2022).

No Quadro 1 está o recorte das dez principais áreas de pesquisa elencadas pela plataforma *Web of Science* (WoS), correspondentes aos três eixos alinhados, que compõem a busca inicial na plataforma, ou seja, os 700 trabalhos localizados no início do processo. Sendo assim, as três colunas da direita correspondem a essas áreas de pesquisa conforme intersecções e as respectivas quantidades de artigos publicados em cada área. Desse modo, têm-se, da esquerda para a direita, os eixos: modelos de maturidade e pequenas e médias empresas; modelos de maturidade e Indústria 4.0; e pequenas e médias empresas e Indústria 4.0.

Quadro 1 - Áreas de pesquisa e a intersecção de cada eixo

Eixos	MM e PMEs	MM e I40	PMEs e I40
Áreas de pesquisa Web of Science (WoS)	Total 437	Total 164	Total 99
Engenharia	135	92	47
Economia de negócios	123	45	31
Ciência da computação	90	36	15
Ciência de gestão de pesquisa operacional	31	18	14
Ciência de materiais	35	0	3
Sistemas de controle de automação	0	10	8
Ecologia ciências ambientais	21	9	7
Ciência tecnologia e outros tópicos	15	9	8
Química	25	4	2
Física	17	6	2

Fonte: plataforma *Web of Science* (WoS). Editado e reunido pelas autoras (2022).

Em relação aos anos das publicações, o destaque é para o eixo de modelos de maturidade e PMEs, pois nessas temáticas há publicações de trabalhos desde 1995 com um aumento significativo nos últimos anos. Entre 1995 e 2004, foram 59 trabalhos elencados; entre 1996 e 2015, obtiveram-se 183 resultados; e nos últimos seis anos já foram publicados 195 estudos. Isso pode ser visualizado por meio do recorte dos anos com maior quantidade de publicações no Quadro 2, que contém os totais de publicações por ano em cada eixo.

As publicações dos eixos relacionadas à Indústria 4.0 são mais atuais, pois o tema passou a ser discutido recentemente. Com isso, modelos de maturidade e Indústria 4.0 possuem uma publicação em 2015; cinco, em 2016; e nove, em 2017, em que os demais 149 trabalhos são dos últimos três anos. Algo parecido ocorre no eixo de PMEs e Indústria 4.0, sendo que cinco publicações ocorreram em 2016; e oito, em 2017, as demais 86 também estão divididas entre os últimos três anos.

Quadro 2 - Anos de publicação e a intersecção de cada eixo

Eixos	MM e PMEs	MM e I4.0	PMEs e I4.0
Ano de Publicação Web of Science (WoS)	Total 437	Total 164	Total 99
2019	48	59	38
2020	48	55	29
2018	41	35	19
2017	35	9	8
2016	19	5	5
2015	0	1	0

Fonte: plataforma *Web of Science* (WoS). Editado e reunido pelas autoras (2022).

No que concerne aos autores das publicações, destacamos Sameer Mittal, uma vez que possui trabalhos publicados nos três eixos: três estudos em modelos de maturidade e PMEs;

quatro, em modelos de maturidade e Indústria 4.0; e dois, em PMEs e Indústria 4.0. E o autor Muztoba Ahmad Khan, pois publicou: três trabalhos no eixo modelos de maturidade e Indústria 4.0; e dois, em PMEs e Indústria 4.0.

No Quadro 3, em recorte conforme a plataforma *Web of Science* (WoS), estão elencados os dez autores principais em cada eixo e a quantidade de trabalhos publicados. Sobre a intersecção de modelos de maturidade e PMEs, podem-se destacar o autor Mario Piattini, que aparece em sete estudos. Em relação à intersecção entre modelos de maturidade e Indústria 4.0, o autor Wilfried Sihh está relacionado a cinco trabalhos. E, finalmente, no eixo PMEs e Indústria 4.0, a autora Jaione Ganzarain e o autor Kai-Ingo Voigt destacam-se em três estudos.

Quadro 3 - Principais autores em cada intersecção de eixos temáticos

Eixo MM e PME		Eixo MM e I4.0		Eixo PME e I4.0	
Autores	Total 437	Autores	Total 164	Autores	Total 99
Piattini, M.	7	Sihh, W.	5	Ganzarain, J.	3
Sanchez, L. E.	5	Gajsek, B.	4	Voigt, K. I.	3
Fernandez-Medina, E.	4	Mittal, S.	4	Cimini, C.	2
Pfeifer, R.	4	Oleskow-Szlapka, J.	4	Haviernikova, K.	2
Prashar, A.	4	Romero, D.	4	Hudakova, M.	2
Villafranca, D.	4	Wuest, T.	4	Ibarra, D.	2
Wuest, T.	4	Basl, J.	3	Igartua, J. I.	2
Goncalves, R. M.	3	Bley, K.	3	Khan, M. A.	2
Hurschler, C.	3	De Carolis, A.	3	Lamouri, S.	2
Malaisse, W. J.	3	Facchini, F.	3	Masar, M.	2

Fonte: plataforma *Web of Science* (WoS). Editado e reunido pelas autoras (2022).

Ainda de acordo com a plataforma *Web of Science* (WoS), os países com mais publicações na temática Indústria 4.0 são a Alemanha e a Itália, pois aparecem com maior número de trabalhos nos eixos que compreendem essa temática. A Alemanha ainda aparece junto aos Estados Unidos da América no que tange às publicações sobre modelos de maturidade e PMEs, conforme o Quadro 4. No Brasil, constam 18 trabalhos publicados no eixo modelos de maturidade e PMEs; 16, no eixo modelos de maturidade e Indústria 4.0; e dois, na intersecção PMEs e Indústria 4.0.

Quadro 4 - Principais regiões de publicações em cada eixo temático

Eixos	MM e PMEs	MM e I4.0	PMEs e I4.0
Países/Regiões	Total 437	Total 164	Total 99
Alemanha	38	32	14
Itália	21	22	12
República Tcheca	7	11	8

Inglaterra	33	11	5
Brasil	18	16	2
EUA	68	9	0
Espanha	31	5	7
Índia	16	11	2
Polônia	0	7	6
Povos da China	34	4	3

Fonte: plataforma *Web of Science* (WoS). Editado e reunido pelas autoras (2022).

No Quadro 4 consta um recorte dos 10 países/regiões que mais apresentam publicações em cada eixo temático. Para facilitar a visualização e a interpretação, as três tabelas estão alinhadas e os zeros foram adicionados no eixo temático onde não consta publicação no determinado país.

A partir dessa análise é possível perceber o início das pesquisas publicadas sobre os temas com base nos anos de publicação, assim como seu crescimento e desenvolvimento, o que demonstra sua relevância para os estudos acadêmicos. Ainda, pode-se verificar que já há alguns autores importantes para as áreas e que esses nomes de destaque servem como base teórica para os estudos nas temáticas. Além disso, as regiões de publicação são potenciais para vislumbrar o cenário de pesquisas futuras.

Nas próximas subseções, com base na leitura dos trabalhos, elencam-se as maiores dificuldades observadas nas PMEs em aderir ao processo de migração para a Indústria 4.0, destacam-se os principais benefícios em adotar esse novo paradigma e apontam-se os modelos de maturidade mais utilizados como base de estudos. Finalmente, sugere-se uma agenda de estudos futuros, assim como os indicadores que podem auxiliar a determinar a maturidade de PMEs em relação à Indústria 4.0.

3.1 Principais dificuldades que as PMEs apresentam em relação à Indústria 4.0

A partir da análise dos 375 artigos selecionados foi possível observar os principais problemas vivenciados pelas PMEs diante da Indústria 4.0: escassez de recursos físicos e de pessoal; falta de recursos financeiros; bem como a necessidade de funcionários multiqualificados, o que impossibilita a obtenção de conhecimentos específicos (Adrodegari; Saccani, 2020; Coleman *et al.*, 2016; Dewi; Mahendrawathi, 2019; Masood; Sonntag, 2020; Nguyen; Luu, 2020; Orzes *et al.*, 2018; Wiesner *et al.*, 2018).

Em virtude de serem PMEs e, portanto, possuírem número restrito de funcionários e de capacidade fabril, essas empresas apresentam limitações de acesso a financiamentos, e as taxas

de mercado não são competitivas, além da dificuldade de aquisição de consultoria, informação e sistemas especializados (Dewi; Mahendrawathi, 2019; Rafael *et al.*, 2020).

Nas PMEs, a utilização de TI, muitas vezes, é realizada apenas pelo proprietário da empresa ou administrador, e as atividades usando esse recurso raramente são desenvolvidas por todos os funcionários, o que desprepara o negócio para a aplicação mais abrangente das ferramentas tecnológicas. Isso afasta a possibilidade dos funcionários e do negócio de especializarem-se e desenvolverem-se tecnologicamente. Portanto, implementar novos sistemas ou novas abordagens de TI, de *e-Business*, de Indústria 4.0 ou de análise de dados é um processo desafiador (Adrodegari; Saccani, 2020; Coleman *et al.*, 2016; Depaoli; Za; Scornavacca, 2020; Goncalves; Santos; Morais, 2009; Jesus; Lima, 2020; Mittal; Romero; Wuest, 2018; Nguyen; Luu, 2020; Oliveira *et al.*, 2014; Orzes *et al.*, 2018).

No que tange aos mecanismos de gestão, as PMEs possuem deficiência em planejamento estratégico de negócios e gestão de recursos humanos (Oliveira; Kaminski, 2012; Dewi; Mahendrawathi, 2019). A capacidade de interpretar as informações sobre as oportunidades de mercado é limitada, assim como sua produtividade é baixa e as estruturas institucionais não são eficazes. Em alguns países, os procedimentos para constituir uma empresa são complicados, e a infraestrutura deprecia sem os recursos suficientes. O sucesso tem base na grande capacidade de improvisação (Dewi; Mahendrawathi, 2019; Wiesner *et al.*, 2018).

O desenvolvimento das PMEs é impactado por fatores internos à organização, isso ocorre em relação à gestão insuficiente, pois em geral a gestão está envolvida com os processos produtivos; e também em relação à baixa capacidade empresarial, de produção técnica e de infraestrutura. O desenvolvimento também é influenciado por fatores externos, que são todos os elementos que estão horizontalmente e verticalmente conectados ao negócio (Dewi; Mahendrawathi, 2019; Oliveira *et al.*, 2014).

Sobre os sistemas de comunicação, as PMEs possuem dificuldade em explorar os benefícios de um acesso amplo à informação e de transações menores que as tecnologias digitais proporcionam, sendo assim, não apresentam abordagem estratégica para as mídias sociais, mesmo que as considerem uma ferramenta essencial. Canais de comunicação personalizados são utilizados para contatar os clientes e, com isso, migrar para novos canais que possam exigir integração de sistemas ou um novo conjunto de habilidades e ferramentas de comunicação por parte de fornecedores, funcionários e clientes (Dyczkowski; Korczak; Dudycz, 2014).

Destarte, as PMEs ignoram os conceitos da Indústria 4.0 e estão insuficientemente informadas sobre as mudanças disruptivas que o mercado enfrentará. Diante dessa situação de transformações, das dificuldades enfrentadas pelas PMEs, como falta de recursos e limitações tecnológicas, bem como das influências diretas dos fatores externos e internos ao seu negócio, cabe às PMEs inovar. No entanto, a fraca capacidade de capitalização para apoiar a inovação contínua e a nova penetração de mercado também são desafios para as PMEs (Oliveira; Kaminski, 2012; Igartua; Retegi; Ganzarain, 2018; Nguyen; Luu, 2020; Rafael *et al.*, 2020; Rauch *et al.*, 2020).

Desta forma, é importante entender que a trajetória dos pequenos negócios rumo à digitalização é uma empreitada difícil porque implica transformações estruturais. Essas transformações demandam gestão e planejamento.. Desse modo, no próximo tópico estão alguns benefícios desse movimento, que foram destacados pelos autores.

3.2 Principais benefícios da Indústria 4.0 aplicada em PMEs

Ainda há uma série de levantamentos e conceituações a serem realizados em relação às implicações organizacionais da Indústria 4.0. Mas cabe destacar que as mudanças estão acontecendo e que a sobrevivência das organizações, no geral, dependerá do quanto estarão preparadas para a adaptação ao novo mercado. Nesta seção, há alguns destaques das vantagens competitivas citadas pelos autores analisados neste trabalho.

A Indústria 4.0 está em desenvolvimento e existem muitas possibilidades em aplicações industriais que podem ser exploradas. No entanto, já é possível destacar que os conceitos e as tecnologias abordadas possuem relevância significativa para as indústrias de manufatura. Além disso, é possível que em médio e longo prazos os benefícios e as mudanças possam alterar significativamente a competição entre empresas e cadeias de valor inteiras. Portanto, é imprescindível que as empresas estejam preparadas para as grandes mudanças nos ambientes de negócios; e tenham ferramentas práticas e robustas para avaliar a maturidade na implementação desses conceitos e tecnologias (Santos; Martinho, 2019).

A diversificação do negócio tem se tornado explícita no mundo organizacional, em que diversas organizações percebem a importância de integrar a visão e a compreensão da Indústria 4.0 em sua cultura organizacional. Em vista disso, busca-se identificar os fatores que afetam o desempenho empresarial e quais são seus efeitos (Ganzarain; Errasti, 2016; Sriram; Vinodh, 2020).

A Quarta Revolução Industrial promoverá aplicativos e impulsionará tecnologias que assegurem a sustentabilidade, oferecendo ferramentas que serão fundamentais para as fábricas do futuro. Para que as PMEs alcancem isso, as empresas precisam de estruturas virtuais e físicas que permitam uma cooperação próxima e uma adaptação rápida ao longo de todo o ciclo de vida, desde a inovação até a produção e distribuição (Ganzarain; Errasti, 2016; Sriram; Vinodh, 2020).

3.3 Principais modelos de maturidade utilizados para avaliar a Indústria 4.0

Alguns trabalhos analisados são considerados modelos basais para avaliação de maturidade da Indústria 4.0. Nesta seção, estão os principais modelos, em ordem de citações, como base para outros estudos. Dessa forma, o trabalho de maior destaque é: *A maturity model for Industry 4.0 Readiness*, de Schumacher, Erol e Sihn (2016). Esse modelo de maturidade avalia a prontidão e a maturidade de empresas de manufatura da Indústria 4.0 e é composto por nove dimensões que abordam a estrutura da Indústria 4.0: clientes; produtos; tecnologia; operações; liderança; estratégia; governança; pessoas; e, por último, cultura (Basl; Doucek, 2019; Colli *et al.*, 2018; Gökalp; Sener; Eren, 2017; Kiraz *et al.*, 2020; Narula *et al.*, 2020; Rafael *et al.*, 2020; Santos; Martinho, 2019; Trotta; Garengo, 2019; Wiesner *et al.*, 2018).

O segundo modelo em evidência é: *Acatech*, de Scholz *et al.* (2017), que inclui três fases distintas: i) inicial, para criar uma compreensão completa do domínio da Indústria 4.0; ii) de desenvolvimento central, para projetar e arquitetar a estrutura do modelo, bem como uma ferramenta de aplicação prática; e iii) de implementação, para validar a ferramenta resultante em aplicação na vida real (Basl; Doucek, 2019; Colli *et al.*, 2018; Gökalp; Sener; Eren, 2017; Kiraz *et al.*, 2020; Narula *et al.*, 2020; Rafael *et al.*, 2020; Santos; Martinho, 2019; Trotta; Garengo, 2019; Wiesner *et al.*, 2018).

Outro modelo importante é: *IMPULS-VDMA IMPULS - Industrie 4.0 - Readiness*, publicado por Lichtblau *et al.* (2015). Esse modelo de prontidão tem seis níveis e a classificação envolve seis fatores principais, incluindo produtos inteligentes, operações inteligentes de fábrica inteligente, também serviços orientados por dados, além de estratégia baseada em Indústria 4.0, juntamente com a própria organização e seus funcionários. Esse modelo envolve uma ferramenta *online* de autoverificação e é baseado em princípios-chave, como produtos e serviços inteligentes (Basl; Doucek, 2019; Colli *et al.*, 2018; Gökalp; Sener; Eren, 2017; Narula *et al.*, 2020; Santos; Martinho, 2019; Trotta; Garengo, 2019; Wiesner *et al.*, 2018).

Além desses, um modelo de destaque é: *SIMMI 4.0 - System Integration Maturity Model Industry 4.0*, de Leyh *et al.* (2016). Trata-se de um modelo de integração de sistemas de maturidade da Indústria 4.0, que caracteriza o cenário de *software* e a tecnologia da informação em toda a empresa, com destaque para as tecnologias da Indústria 4.0. Possui cinco níveis, que são: digitalização básica; digitalização intersetorial; digitalização horizontal e vertical; digitalização completa; e digitalização completa otimizada. Além disso, possui três dimensões: a integração vertical, a integração horizontal e os critérios de tecnologia transversal (Basl; Doucek, 2019; Gökalp; Sener; Eren, 2017; Kolla; Minufekr; Plapper, 2019; Narula *et al.*, 2020).

O modelo denominado *Acatech*, proposto por Scholz (2017), aborda um índice de maturidade da Indústria 4.0, que é avaliado por meio do grau de implementação de cada capacidade de transformação. Isso possibilita a gestão da transformação digital de empresas. O modelo adota como entradas a situação atual e a estratégia corporativa da empresa para fornecer um mapa de orientação digital como saída. Esse modelo conta com uma abordagem de passo a passo para alcançar os benefícios, assim como reduz os riscos de investimento e implementação para a empresa (Basl; Doucek, 2019; Colli *et al.*, 2019; Santos; Martinho, 2019; Scholz, 2017; Wiesner *et al.*, 2018).

A ideia central de Scholz (2017) é apresentar um modelo de maturidade usado para avaliar o nível de digitalização de empresas dinamarquesas e é composto por seis níveis, em que cada estágio digital é considerado necessário para evoluir para o seguinte. Para mapear os recursos digitais da organização, eles são agrupados em cinco áreas, chamadas dimensões digitais (Colli *et al.*, 2019; Kolla; Minufekr; Plapper, 2019; Santos; Martinho, 2019; Scholz, 2017; Wiesner *et al.*, 2018). No Quadro 5 é possível observar as características mais relevantes de cada modelo.

Quadro 5 - Modelos de maturidade e de prontidão mais citados

Modelo	Autores	Características	Citações
<i>A maturity model for Industry 4.0 Readiness</i>	Schumacher, Erol e Sihn (2016)	Modelo de maturidade para avaliar a prontidão e a maturidade de empresas de manufatura da Indústria 4.0. Nove dimensões sob a estrutura da Indústria 4.0, que são: clientes, produtos, tecnologia, operações, liderança, estratégia, governança, pessoas e, por último, cultura. É composto de três fases distintas: uma fase inicial para criar uma compreensão completa do domínio da Indústria 4.0, uma fase de desenvolvimento central para projetar e arquitetar a estrutura do modelo, bem	(Basl e Doucek, 2019; Colli <i>et al.</i> , 2018; Rafael <i>et al.</i> , 2020; Gökalp; Sener; Eren, 2017; Kiraz <i>et al.</i> , 2020; Narula <i>et al.</i> , 2020; Santos e Martinho, 2019; Trotta e Garengo, 2019; Wiesner <i>et al.</i> , 2018)

		como uma ferramenta de aplicação prática e uma fase de implementação para validar a ferramenta resultante em aplicação na vida real.	
<i>Acatech</i>	Scholz <i>et al.</i> (2017)	Índice de maturidade da Indústria 4.0. A maturidade da Indústria 4.0 é avaliada por meio do grau de implementação de cada capacidade de transformação. Gerencia a transformação digital de empresas. Adota como entradas a situação atual e a estratégia corporativa da empresa para fornecer um mapa de orientação digital como saída. Conta com uma abordagem de passo a passo para alcançar os benefícios. Reduz os riscos de investimento e implementação para a empresa. O MM usado para avaliar o nível de digitalização de empresas dinamarquesas e é composto por seis níveis. Cada estágio digital é considerado o necessário para evoluir para o seguinte. Para mapear os recursos digitais da organização, eles são agrupados em cinco áreas, chamadas dimensões digitais.	(Basl e Doucek, 2019; Colli <i>et al.</i> , 2019; Hofmann <i>et al.</i> , 2019; Kolla, Minufekr e Plapper, 2019; Santos e Martinho, 2019; Scholz, 2017; Wiesner <i>et al.</i> , 2018)
<i>IMPULS-VDMA IMPULS-Industrie 4.0 - Readiness</i>	Lichtblau <i>et al.</i> (2015)	Modelo de prontidão com seis níveis, em que a classificação envolve seis fatores principais, incluindo produtos inteligentes, operações inteligentes de fábrica inteligente, serviços orientados por dados, estratégia baseada em Indústria 4.0, juntamente com a própria organização e seus funcionários. Envolve uma ferramenta <i>online</i> de autoverificação. Esse modelo de prontidão é baseado em princípios-chave, como produtos e serviços inteligentes.	(Basl; Doucek, 2019; Colli <i>et al.</i> , 2018; Evans; Marshall, 1998; Gökalp; Sener; Eren, 2017; Narula <i>et al.</i> , 2020; Rafael <i>et al.</i> , 2020; Santos e Martinho, 2019; Trotta; Garengo, 2019; Wiesner <i>et al.</i> , 2018)
<i>SIMMI 4.0</i>	Leyh <i>et al.</i> (2016);	Modelo de integração de sistemas de maturidade da Indústria 4.0: <i>SIMMI 4.0 - System Integration Maturity Model Industry 4.0</i> . Caracteriza o cenário de <i>software</i> e a tecnologia da informação em toda a empresa, com destaque para as tecnologias da Indústria 4.0. Possui cinco níveis, que são: digitalização básica; digitalização intersetorial; digitalização horizontal e vertical; digitalização completa; e digitalização completa otimizada. Além disso, possui três dimensões: a integração vertical, a integração horizontal e os critérios de tecnologia transversal.	(Basl e Doucek, 2019; Colli <i>et al.</i> , 2018; Gökalp; Sener; Eren, 2017; Kolla, Minufekr e Plapper, 2019; Leyh <i>et al.</i> , 2016a; Leyh <i>et al.</i> , 2016b; Leyh <i>et al.</i> , 2017; Narula <i>et al.</i> , 2020)

Fonte: elaborado pelas autoras (2022).

Tendo em vista os principais modelos, observa-se que se trata de composições recentes e com abordagens diferenciadas. No entanto, não são modelos de maturidade dedicados para PMEs, assim como os modelos são lineares e abordam somente algumas questões específicas da Indústria 4.0. Desse modo, no tópico a seguir, discute-se a agenda futura de pesquisas.

3.4 Agenda de pesquisa para medição de maturidade de PMEs em relação à Indústria 4.0

O destaque das lacunas de pesquisa está na definição da Indústria 4.0 e em seus parâmetros de mensuração. Embora existam perspectivas para a abordagem da era da digitalização, ainda são conceitos complexos e há muitas suposições. Mesmo que os autores tenham se esforçado em caracterizar a transformação digital, existem divergências. Para além, os objetos de observação da caracterização envolvem algum eixo específico e não o conjunto de conceitos. Desse modo, uma lista completa de todos os parâmetros, separados por elementos ou dispositivos, seria pertinente (Depaoli; Za; Scornavacca, 2020; Dossou, 2018; Simetinger; Zhang, 2020).

Os modelos de maturidade são genéricos e não atendem as especificidades de áreas e setores ou, ainda, de pequenos negócios. Com isso, apesar de ser uma ótima ferramenta, que apoia a avaliação e a tomada de decisão em relação aos passos a serem seguidos, ainda há muitas opções de desenvolvimento futuro (Dossou, 2018; Simetinger; Zhang, 2020; Wiesner *et al.*, 2018).

Para novos modelos de maturidade, salienta-se que um dos elementos que essa pesquisa localizou, para apoiar MMs para PMEs em relação às demandas da Quarta Revolução Industrial, é que devem possuir estratégias a longo prazo e compor o pensamento sistêmico para a Indústria 4.0. Além disso, seria importante que fossem compostos da elaboração do processo de desenvolvimento passo a passo, dentro dos limites das organizações, e que levantassem as habilidades necessárias aos funcionários, uma vez que o ser humano está no centro desse processo (Depaoli; Za; Scornavacca, 2020; Dossou, 2018; Wiesner *et al.*, 2018).

Os trabalhos apresentados não demonstram todos os itens e subitens analisados para o sistema de medição dos MMs discutidos. Isso é outro espaço de análise de pesquisa, uma vez que essa lacuna de exposição dos trabalhos dificulta a incrementação do modelo para atender a alguma área ou perspectiva específica. Tornar todos os parâmetros de avaliação explícitos seria algo bastante produtivo, como indicador, em um novo estudo.

Novos modelos de maturidade também deveriam considerar como indicadores a capacidade de investimento de cada organização e o quanto é possível implementar com os recursos disponíveis pela empresa. Como PMEs dispõem de menos recursos e necessitam de fomento, um modelo que avaliasse a maturidade sob o viés da possibilidade de investimento e da expectativa de atendimento dos objetivos institucionais poderia ser algo útil e seria outro indicador relevante. (Dossou, 2018; Simetinger; Zhang, 2020; Wiesner *et al.*, 2018).

Pequenos negócios podem não almejar níveis altos de maturidade e, com isso, irão permanecer nos níveis inferiores de um modelo robusto; no entanto, podem querer aprimorar as tarefas que são capazes de cumprir dentro de cada nível. Tendo isso em vista, são bem-vindos os modelos de maturidade que sejam adaptáveis e que não sejam rígidos nem estanques, que apoiem a possibilidade para avaliação de maturidade de Indústria 4.0 em PMEs, o que se configura como outro indicador. Sendo assim, seria importante que fossem demonstrados, nos novos modelos de maturidade, as possibilidades relativas à digitalização, como os riscos de segurança da informação, *softwares* e *hardwares* (Depaoli; Za; Scornavacca, 2020; Simetinger; Zhang, 2020; Wiesner *et al.*, 2018).

No Quadro 6 estão elencados os principais itens ou subitens de maturidade para compor futuras dimensões e auxiliar na avaliação do desenvolvimento e implantação de Indústria 4.0 em PMEs, servindo como base para a construção de um modelo de maturidade. Dessa forma, esta pesquisa elenca os principais traços teóricos sobre a temática da Indústria 4.0 em PMEs e modelos de maturidade, assim como apoio à prática do desenvolvimento de um modelo dedicado para PMEs.

Quadro 6 - Principais itens e subitens e seus autores para compor as dimensões de maturidade de Indústria 4.0 em PMEs

SUGESTÃO DE ITEM OU SUBITEM	PRINCIPAIS AUTORES
A empresa adota medidas de segurança como criptografia	Wagire <i>et al.</i> (2020)
A empresa armazena e recupera as informações da rede em nuvem	Wagire <i>et al.</i> (2020)
A empresa tem a capacidade de coletar, armazenar e gerenciar dados de forma eficaz	Wagire <i>et al.</i> (2020)
A empresa usa sistemas em nuvem para conectar e compartilhar remotamente recursos físicos	Wagire <i>et al.</i> (2020)
A empresa realiza análise de dados	Santos e Martinho (2019)
A empresa realiza análise de dados massivos	Narula <i>et al.</i> (2020)
A empresa adquire dados de forma automatizada por meio de sensores e atuadores	Santos e Martinho (2019)
A empresa adquire dados de armazenamento	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)

A empresa realiza armazenamento e computação de dados	Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Até que ponto os dados da fase de uso são analisados é um fator considerado pela empresa	Santos e Martinho (2019)
Autenticação e medidas de autorização são realizadas pela empresa	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Avaliação em grande escala dos dados gerados na fábrica e coletados na cadeia de suprimentos é realizada pela empresa	Narula <i>et al.</i> (2020)
Clientes são considerados	Santos e Martinho (2019)
Coleta de dados sobre a condição de trabalho no chão de fábrica é realizada	Schumacher, Erol e Sihm (2020)
Coleta de dados sobre a localização do funcionário no chão de fábrica é realizada	Schumacher, Erol e Sihm (2020)
Compartilhamento de dados usados é realizado	Santos e Martinho (2019)
Comunicação eficiente é realizada	Santos e Martinho (2019)
Dados como o gerador de valor do modelo de negócios são considerados	Narula <i>et al.</i> (2020)
Dados e análises como capacidade principal são considerados	Hizam-Hanafiah and Soomro (2021)
Dados, inteligência e transformação digital são considerados	Trotta e Garengo (2019)
Desenvolvimento de sistema de recebimento e envio de dados no dispositivo, microchip ou dispositivos inteligentes são usados	Trotta e Garengo (2019)
Design de interface baseado em tarefas é aplicado	Santos e Martinho (2019)
Direção e controle são considerados	Trotta e Garengo (2019)
São disponibilizados serviços baseados em dados	Santos e Martinho (2019)
São entregues dados contextualizados	Santos e Martinho (2019)
São estabelecidos protocolos de comunicação seguros	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Existe estratégia de uso de dados coletados de funcionários	Schumacher, Erol e Sihm (2020)
Estrutura organizacional é considerada	Trotta e Garengo (2019)
Fábrica inteligente é considerada	Santos e Martinho (2019)
Ferramentas de simulação são aplicadas	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Competências digitais são fornecidas	Santos e Martinho (2019)
É garantida a segurança de TI e a proteção de dados	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Existe gerenciamento de chão de fábrica baseado em dados	Schumacher, Erol e Sihm (2020)
Existe gestão da cadeia de suprimentos: comunicação, colaboração, visibilidade e envolvimento em tempo real	Narula <i>et al.</i> (2020)
Gestão de dados é realizada	Santos e Martinho (2019)
Governança de dados é realizada	Hizam-Hanafiah and Soomro (2021)
Há tentativa de implementação de dados massivos	Trotta e Garengo (2019)
<i>Industrial Cyber Security</i> (ICS) é implementada	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Infraestrutura de equipamentos é considerada	Santos e Martinho (2019)
Infraestrutura de TI resiliente é considerada	Santos e Martinho (2019)
<i>Insights</i> baseados em dados são considerados	Hizam-Hanafiah and Soomro (2021)
Integração de dados massivos é realizada	Trotta e Garengo (2019)
Existe integração de serviços baseados em dados com os clientes	Narula <i>et al.</i> (2020)

Integração de TI é uma realidade	Hizam-Hanafiah and Soomro (2021)
Integração horizontal e vertical é realizada	Santos e Martinho (2019)
Integridade de dados é aplicada	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)
Interface de dados padrão é aplicada	Santos e Martinho (2019)
Localização de dados é facilitada	Hizam-Hanafiah and Soomro (2021)
Manufatura e operações são consideradas	Trotta e Garengo (2019)
Manutenção preditiva com análise de <i>big data</i> é realizada	Narula <i>et al.</i> (2020)
Máquinas trocam dados automaticamente	Trotta e Garengo (2019)
Maturidade de TI	Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Melhorar a produtividade da planta	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Melhorar conhecimento e habilidades dos cientistas de dados	Trotta e Garengo (2019)
Minimizar o tempo de inatividade por meio de análises preditivas	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Modelagem digital	Santos e Martinho (2019)
Nível de digitalização da organização	Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Operação e fabricação	Trotta e Garengo (2019)
Organização de processos	Trotta e Garengo (2019)
Os dados obtidos são usados para simular um cenário hipotético	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Padronização de protocolos de comunicação	Hoyer, Gunawan e Reaiche (2020)
Padronização e segurança de TI	Hoyer, Gunawan e Reaiche (2020)
Participação das receitas derivadas de serviços baseados em dados	Santos e Martinho (2019)
Preparação de dados	Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Preparação de TI	Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Pré-processamento descentralizado de dados do sensor	Santos e Martinho (2019)
Previsão de demanda orientada por análise de dados massivos	Narula <i>et al.</i> (2020)
Processamento de dados em tempo real	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Processo de desenvolvimento de produto	Trotta e Garengo (2019)
Produtos capazes de coletar dados sobre sua própria utilização	Trotta e Garengo (2019)
Prontidão de TIC	Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Qualidade de dados	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)
Recursos	Santos e Martinho (2019)
Rede de computação em nuvem (CC) para armazenamento de dados	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Rede de computação em nuvem (CC) para compartilhamento de recursos	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Representação digital	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)

Segurança de dados	Hoyer, Gunawan e Reaiche (2020)
Segurança de TI	Santos e Martinho, (2019), Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Segurança e acesso a dados	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)
Serviços baseados em dados	Santos e Martinho (2019) Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Serviços inteligentes	Trotta e Garengo, (2019)
Sistema de TI complementar	Hizam-Hanafiah <i>et al.</i> (2020)
Sistema geral de TI	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)
Sistemas de assistência	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)
Sistemas de informação	Santos e Martinho (2019)
Suporte à decisão de negócios	Wagire <i>et al.</i> (2020)
Suporte ao cliente	Narula <i>et al.</i> (2020)
Tomada de decisões em tempo real em todos os aspectos da manufatura	Narula <i>et al.</i> (2020)
Transferência de dados	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)
Uso de dados	Santos e Martinho (2019)
Utilização de dados do cliente - segurança/proteção	Santos e Martinho (2019)
Visualização e análise de dados	Maier, Schmiedbauer e Biedermann (2020)

Fonte: elaborado pelas autoras com base na revisão sistemática de literatura (2022).

O Quadro 6 indica os elementos, observados na literatura, que devem constar em um modelo de maturidade que avalie as PMEs diante da Indústria 4.0. Dessa forma, níveis mais altos de maturidade quanto a coleta de dados significam que a empresa possui habilidade e capacidade em coletar, armazenar, monitorar e controlar os dados em tempo real das unidades de produção. Para atingir essa aptidão, conforme as informações reunidas no Quadro 6, é importante utilizar uma rede em nuvem para armazenar os dados e compartilhá-los por meio de aplicativos para os usuários internos, assim como para os clientes externos. Isso garante a capacidade de acessar dados digitalmente, fornecendo a comunicação instantânea com os parceiros externos (Ryan, Fenton e Ahmed, 2020; Wagire *et al.*, 2020).

A maturidade também é mensurada observando se as organizações possuem elementos como: i) a utilização de código de barras, de sensores e de PLCs - *Programmable Logic Controller* (CLP - Controlador Lógico Programável); ii) o emprego de RFID - *Radio-Frequency IDentification* (identificação por radiofrequência); e iii) aplicação dos sistemas

Enterprise Resource Planning - ERP (sistema integrado de gestão empresarial) e MES - *Manufacturing Execution System* (sistemas de execução de fabricação). Esses elementos incrementam a integração e garantem a coleta dos dados em tempo real, além de viabilizarem que os vários estágios de produção e recursos estejam sintonizados (Bittighofer *et al.*, 2018; Ghobakhloo, 2020; Wagire *et al.*, 2020).

Outro elemento da Indústria 4.0, que deve ser mensurado pelo MM, é o processo de integração. A integração existe a partir de dispositivos e de dados que circulam entre os dispositivos e garantem ao sistema o conjunto de informações, de comunicação e de autonomia que a Indústria 4.0 necessita para operar. Sobre o aspecto da integração horizontal, é preciso mensurar se os dados relevantes de fabricação necessitam estar conectados à rede do fornecedor para garantir a disponibilidade de estoque o tempo todo, por meio de EDI - *Electronic Data Interchange* (intercâmbio eletrônico de dados) (Culot *et al.*, 2020; Nassimbeni, *et al.*, 2020; Ghobakhloo, 2020; Kolla; Minufekr; Plapper, 2019).

A integração garante a maturidade quando não se limita às tecnologias de informação e manufatura, pois é importante conectar as funções e os dados ao longo de toda a cadeia de valor, em escala global e entre todos os parceiros de negócios e os clientes. Assim, a manufatura inteligente necessita de equipamentos para oferecer um nível padrão de aquisição, transmissão e visualização de dados remota e instantaneamente. Desse modo, avaliar a capacidade de atualização dos equipamentos de manufatura existentes com sensores, controladores e módulos de transmissão de dados industriais inteligentes é fundamental (Bittighofer *et al.*, 2018; Ghobakhloo, 2020).

A prontidão geral para implementação e utilização de equipamentos de manufatura inteligentes e modernos também é recomendado que faça parte da avaliação do MM. Da mesma forma que a digitalização, no contexto da manufatura, a qual refere-se à aplicação de ferramentas de comércio eletrônico, como *website*, intercâmbio eletrônico de dados e sistemas de transferência eletrônica de fundos (Ghobakhloo, 2020).

O espaço cibernético aloca e processa os dados obtidos pelos sistemas interconectados através de *softwares* que realizam o processamento e a análise dos dados por meio de alta tecnologia, além de fornecerem as informações para controle e tomada de decisão. As tecnologias de processamento de dados fornecem as capacidades analíticas que operam os sistemas ciberfísicos e de IoT. Logo, as empresas em geral têm usado com maior frequência os espaços cibernéticos em nuvens, o que não elimina a possibilidade de haver um espaço físico local, no entanto isso pode aumentar os custos (Culot *et al.*, 2020; Nassimbeni, *et al.*, 2020).

Níveis elevados de maturidade estão focados na implantação da IoE - *Internet of Everything* (Internet de Tudo), que é a etapa final na conexão. A partir disso, há não apenas ligação entre máquinas e servidores, mas também a criação de uma interconexão entre processos, dados, coisas e pessoas. Isso resultaria na geração de maior valor a partir das configurações existentes. Essa interconexão só é possível pelo aumento do desempenho do processador, disponibilidade de armazenamento de dados e ampliação da capacidade de transferência de dados, com o número ainda maior de sensores e conexões, (Maier; Schmiedbauer; Biedermann, 2020).

O uso dessas novas tecnologias aumenta a quantidade de dados que serão compartilhados, coletados e processados e, portanto, também acentua a vulnerabilidade geral dos sistemas que estão gerenciando os dados. Com isso, uma empresa madura deve garantir a segurança de dados, pois é um dos principais obstáculos, uma vez que proteger e gerenciar os dados de maneira inadequada pode resultar em travamentos do sistema e culminar em uma parada total da produção (Hoyer; Gunawan; Reaiche, 2020).

Os riscos de segurança cibernética representam um desafio, assim como os riscos que estão por surgir. Há uma possibilidade de que dados comprometidos possam criar uma falsa realidade virtual (RV). Isso sugere que os fluxos de informações, da imagem digital de um sistema empresarial, possam não refletir os fluxos reais de material ou energia. Esse tipo de situação pode prejudicar todo o sistema, levando-o ao colapso. Desse modo ocorrerá à perda de confiança nos sistemas de informações corporativos e em seus dados armazenados (Basl e Doucek, 2019).

Para que as decisões e ações tomadas possam ser formuladas com base em dados confiáveis, devidamente autorizados e conforme a legislação, também é uma evolução que a organização se comprometa com a segurança dos dados. Dessa forma, devem estar disponíveis e implementadas tecnologias de detecção de risco e monitoramento de integridade. É crucial que vazamento de dados sejam evitados e, caso ocorram, deve haver procedimentos para solucionar a situação (Ghobakhloo, 2020).

Isso posto, a maturidade de TI refere-se à capacidade das empresas de gerenciar a complexidade emergente causada pelas tecnologias associadas à digitalização. Essa capacidade é a soma de uma série de fatores, como as habilidades e o conhecimento dos funcionários, a compatibilidade das tecnologias utilizadas e a estabilidade de conexão de internet. Desse modo, deve-se avaliar quais protocolos de comunicação são eficientes, seguros e inseridos no escopo

de uma estrutura que proporcionará segurança de dados (Bittighofer *et al.*, 2018; Hoyer; Gunawan; Reaiche, 2020).

4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo sugerir uma agenda de pesquisa para a maturidade de PMEs em relação ao novo paradigma da Indústria 4.0. Para cumprir com o objetivo foram revisados os temas referentes aos modelos de maturidade e aos pressupostos da Indústria 4.0, de forma que estes estivessem alinhados aos pequenos negócios. Sendo assim, foi realizada uma revisão sistemática de literatura.

A revisão sistemática de literatura pontuou as principais áreas de pesquisa correspondentes aos eixos temáticos das intersecções entre MMs e PMEs, MMs e Indústria 4.0 e PMEs e Indústria 4.0. Com base nesses eixos temáticos, a partir da plataforma de pesquisa *Web of Science* (WoS), também foram elencados os anos dos trabalhos publicados e sua evolução, assim como os principais autores e os países com amplo impacto nas publicações.

A partir dessas análises, foi possível verificar as barreiras que dificultam a implantação da Indústria 4.0 em PMEs, assim como os principais benefícios caso transponham as dificuldades e se adaptem a esse novo modelo de negócios. Além disso, os modelos de maturidade mencionados em maior quantidade foram elencados por ordem de citação. Com base nisso, sugeriu-se a agenda de pesquisa futura, que contém o ideal de um novo modelo de maturidade e os principais indicadores de maturidade para PMEs com apoio nos requisitos da nova era digital.

O principal limitador desta pesquisa é a plataforma que serviu como base de dados pois, apesar de ser bastante completa, ainda não contempla todos os estudos dessas temáticas. Além disso, ao realizar as intersecções, é possível que requisitos de modelos de maturidade de empresas maiores acabaram se sobrepondo aos ideais das PMEs. Outra lacuna se refere à linguagem, pois alguns estudos estão em idiomas que não facilitam sua leitura e interpretação, de modo que alguns trabalhos fazem parte do escopo em função do título e palavras-chave, no entanto, não foram observados em profundidade.

A originalidade deste trabalho encontra-se na intersecção entre os três eixos, possibilitando a base de estudos teóricos no que tange as três temáticas. Do mesmo modo, serve como um arcabouço prático para desenvolvimento de modelos de maturidade para avaliação de implantação em Indústria 4.0 ou mesmo *frameworks* e guias de implantação.

REFERÊNCIAS

ADRODEGARI, F.; SACCANI, N. A maturity model for the servitization of product-centric companies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 4, p. 775-797, jun. 2020.

ANDRIANI, M; SAMADHI, T.M.A.; SISWANGTO, J.; SURYADI, K. Aligning business process maturity level with SMEs growth in Indonesian fashion industry. **International Journal of Organizational Analysis**, v. 26, n. 4, p. 709-727, 2018.

BARATA, J.; CUNHA, P. R. Climbing the Maturity Ladder in Industry 4.0: A Framework for Diagnosis and Action that Combines National and Sectorial Strategies. **Anais Amcis 2017 Proceedings**. 2017. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/319154292_Climbing_the_Maturity_Ladder_in_Industry_4_0_A_Framework_for_Diagnosis_and_Action_that_Combines_National_and_Sectorial_Strategies>

BASL, J.; DOUCEK, P. A Metamodel for Evaluating Enterprise Readiness in the Context of Industry 4.0. **Information**, v. 10, n. 3, p. 1-13, 2019.

BITTIGHOFER, D.; DUST, M.; IRSLINGER, A.; LIEBICH, M.; MARTIN, L. State of Industry 4.0 across German Companies A Pilot Study. IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). **Proceedings**. Stuttgart, Germany 2018: IEEE, 2018.

COLEMAN, S.; GÖB, R.; MANCO, G.; PIEVATOLO, A.; TORT-MARTORELL, X.; REIS, M.S. How Can SMEs Benefit from Big Data? Challenges and a Path Forward. **Quality And Reliability Engineering International**, v. 32, n. 6, p. 2151-2164, 2016.

COLLI, M.; BERGER, U.; BOCKHOLT, M.; MADSEN, O.; MOLLER, C.; WAEHRENS, B.V. A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era. **Annual Reviews in Control**, v. 48, p. 165-177, 2019.

COLLI, M. ; BERGER, U.; BOCKHOLT, M.; MADSEN, O.; MOLLER, C.; VEJRUM, B. *W. et al.* Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. **IFAC Papersonline**, v. 51, n. 11, p. 1347-1352, 2018.

CULOT, G.; NASSIMBENI, G.; ORZES, G.; SARTOR, M. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. **International Journal of Production Economics**, v. 226, 2020.

DEPAOLI, P.; ZA, S.; SCORNAVACCA, E. A model for digital development of an interaction-based approach. **Journal Of Small Business and Enterprise Development**, v. 27, n. 7, p. 1049–1068, 2020.

DEWI, F.; MAHENDRAWATHI, E.R. Business Process Maturity Level of MSMEs in East Java, Indonesia. **Procedia Computer Science**, v.161, 2019,p. 1098-1105, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.221>.



DOSSOU, P. Impact of Sustainability on the supply chain 4.0 performance. (F. Sormaz, D and Suer, G and Chen, Ed.) **Proceedings**. 28th International Conference on Flexible Automation And Intelligent Manufacturing (FAIM2018): Global Integration Of Intelligent Manufacturing And Smart Industry For Good of Humanity. Columbus, OH, JUN 11-14, 2018.

DYCZKOWSKI, M.; KORCZAK, J.; DUDYCZ, H. Multi-criteria Evaluation of the Intelligent Dashboard for SME Managers based on Scorecard Framework. **Anais**. Federated Conference on Computer Science and Information Systems, Warsaw, Poland, 2014.

EVANS, C. L.; MARSHALL, D. A. Monetary policy and the term structure of nominal interest rates: evidence and theory. (McCallum, BT and Plosser, CI and Leeper, EM and Sims, CA, Ed.) **Anais** Carnegie - Rochester Conference Series on Public Policy, Vol 49 - December 1998.

GANZARAIN, J.; ERRASTI, N. Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management-JIEM**, v. 9, n. 5, SI, p. 1119-1128, 2016.

GHOBAKHLOO, M. Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 8, p. 2384-2405, 2020.

GÖLLAP, E., ŞENER, U.; EREN, P.E. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In: MAS, A.; MESQUIDA, A.; O'CONNOR, R.; ROUT, T.; DORLING, A. (Eds.) **Software Process Improvement and Capability Determination**. SPICE. Communications in Computer and Information Science, vol 770. Springer, Cham, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10.

GONCALVES, R. M.; SANTOS, S. S.; MORAIS, E. P. E-business Maturity and Information Technology in Portuguese SMEs. (K. Soliman, Ed.) **Anais**. Knowledge Management and Innovation in Advancing Economies-Analyses e Solutions, VOLS 1-3. 13th International-Business-Information-Management-Association Conference, Marrakech, Morocco, 2009.

HASSAN, S.; HADDAWY, P.; ZHU, J. A bibliometric study of the world's research activity in sustainable development and its sub-areas using scientific literature. **Scientometrics**, v. 99, n. 2, p. 549-579, 2013.

HIZAM-HANAFIAH, M.; SOOMRO, M.A. The Situation of Technology Companies in Industry 4.0 and the Open Innovation. **J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.**, v.7, n. 34, 2021. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010034>.

HOFMANN, C.; STAHER, T.; COHEN, S.; STRICKER, N.; HAEFNER, B.; LANZA, G. Augmented Go e See: An approach for improved bottleneck identification in production lines. (S. Herrmann, C and Thiede, Ed.) **Anais research. Experience. Education**. Procedia Manufacturing.9th Conference on Learning Factories (CLF), Braunschweig, Germany, 2019.

HOYER, C.; GUNAWAN, I.; REAICHE, C. The Implementation of Industry 4.0-A Systematic Literature Review of the Key Factors. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 37, n. 4, SI, p. 557-578, jul. 2020.

IGARTUA, J. I.; RETEGI, J.; GANZARAIN, J. IM2, a Maturity Model for Innovation in SMEs. **Dirección y Organización**, v. 64, p. 42-49, 2018.

JESUS, C. ; LIMA, R. M. Literature Search of Key Factors for the Development of Generic and Specific Maturity Models for Industry 4.0. **Applied Sciences-Basel**, v. 10, n. 17, p. 1-19, 2020.

KIRAZ, A.; CANPOLAT, O.; ÖZKURT, C.; TAŞKIN, H.; SARP, E. Examination of the criteria affecting Industry 4.0 with structural equation model and a pilot study. **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, v. 35, n. 4, p. 2183-2196, 2020.

KOLLA, S. S. V. K.; MINUFEKR, M.; PLAPPER, P. Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs. (R. Butala, P and Govekar, E and Vrabec, Ed.) **Anais** . Procedia CIRP.52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS), Ljubljana, Slovenia, 2019.

LEYH, C.; BLEY, K.; SCHÄFFER, T.; FORSTENHÄUSLER, S. SIMMI 4.0. A maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), **Proceedings**, Gdansk, Poland, 2016a, pp. 1297-1302.

LEYH, C., SCHÄFFER, T., BLEY, K., FORSTENHÄUSLER, S. Assessing the IT and Software Landscapes of Industry 4.0-Enterprises: The Maturity Model SIMMI 4.0. In: Ziemba, E. (eds) Information Technology for Management: New Ideas and Real Solutions. ISM AITM. **Lecture Notes in Business Information Processing**, v 277, 2016b. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53076-5_6.

LEYH, C., BLEY, K., SCHÄFFER, T., BAY, L. The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises. **Anais AMCIS 2017 Proceedings**, 2017. 23rd Americas Conference on Information Systems (AMCIS), Boston, MA, 2017.

MAIER, H. T.; SCHMIEDBAUER, O.; BIEDERMANN, H. Validation of a Lean Smart Maintenance Maturity Model. **Tehnicki Glasnik-Technical Journal**, v. 14, n. 3, p. 296-302, 2020.

MASOOD, T.; SONNTAG, P. Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. **Computers in Industry**, v. 121, p. 1-12, 2020.

MEDEIROS, I. L.; VIEIRA, A.; BRAVIANO, G.; GONÇALVES, B.S. Revisão Sistemática e Bibliometria facilitadas por um Canvas para visualização de informação. **InfoDesign - Revista Brasileira de Design da Informação**, v. 12, n. 1, p. 93-110, 2015.

MITTAL, S.; ROMERO, D.; WUEST, T. Towards a Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM3E). In: MOON, I.; LEE, G.; PARK, J.; KIRITSIS, D.; von CIEMENSKI, G. (Eds) **Advances in Production Management Systems**. Smart Manufacturing for Industry 4.0. APMS 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology, v 536. Springer, Cham, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0_20

NARULA, S.; PRAKASH, S.; DWIVEDY, M.; TALWAR, V.; TIWARI, S.P. Industry 4.0



adoption key factors: an empirical study on manufacturing industry. **Journal of Advances in Management Research**, v. 17, n. 5, p. 697-725, 2020.

NGUYEN, X. T.; LUU, Q.; KHAI L. Factors Affecting Adoption of Industry 4.0 by Small- and Medium-Sized Enterprises: A Case in Ho Chi Minh City, Vietnam. **Journal of Asian Finance Economics and Business**, v. 7, n. 6, p. 255-264, jun. 2020.

OLIVEIRA, A. C.; KAMINSKI, P. C. A reference model to determine the degree of maturity in the product development process of industrial SMEs. **Technovation**, v. 32, n. 12, p. 671-680, 2012.

OLIVEIRA, M.; PEDRON, C.D.; NODARI, F.; RIBEIRO, R. Knowledge Management in Small and Micro Enterprises: Applying a Maturity Model. 15th European Conference on Knowledge Management, **Proceedings (ECKM 2014)**, v 1-3 Portugal, 2014.

ORZES, G.; *et al.* Industry 4.0 Implementation Barriers in Small and Medium Sized Enterprises: A Focus Group Study. **Anais 2018. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Proceedings (IEEEM)**, Bangkok, Thailand, 2018.

PILKINGTON, A.; MEREDITH, J. R. The evolution of the intellectual structure of operations management-1980-2006: A citation/co-citation analysis. **Journal of Operations Management**, v. 27, n. 3, p. 185-202, 2009.

PIROLA, F.; CIMINI, C.; PINTO, R. Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

RAFAEL, L. D.; JAIOINE, G.E.; LÓPEZ, C.; IBON, S.L. An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 159, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120203>.

RAUCH, E.; UTERHOFER, M.; ROJAS, R.A; GUALTIERI, L.; WOSCHANK, M.; MATT. D.T. A Maturity Level-Based Assessment Tool to Enhance the Implementation of Industry 4.0 in Small and Medium-Sized Enterprises. **Sustainability**, v. 12, n. 9, 3559.
<https://doi.org/10.3390/su12093559>

RYAN, W. G.; FENTON, A.; AHMED, W. Recognizing events 4.0: the digital maturity of events. **International Journal of Event And Festival Management**, v. 11, n. 1, p. 47-68, 2020.

SANTOS, R. C.; MARTINHO, J. L. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

SANTOS-NETO, J. B.. S., COSTA, A. P. C. S. Enterprise maturity models: a systematic literature review. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 5, p. 719-769, 2019.

SCHOLZ, G. Acatech and Karlsruhe Institute of Technology are developing Industry 4.0 Guide for Business KIT wants to help with Guidelines, especially small and medium-sized Businesses to get started. **ATP Edition**, n. 5, p. 27, 2017.]

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHNN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, 2016, p.161-

166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. [s.l.] Edipro, 2016.

SIMETINGER, Fišek; ZHANG, Z. (Justin). Deriving secondary traits of industry 4.0: A comparative analysis of significant maturity models. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 37, n. 4, SI, p. 663–678, 2020.

SOUZA, S. S.; SANTIAGO, S.B.; SOARES FILHO, A.A.F.; MENDONÇA, M.B.; OLIVEIRA, F.L. Metanálise dos modelos de maturidade da Indústria 4.0. **Interciencia**, v. 45, n. 8, p. 397-401, 2020.

SRIRAM, R. M.; VINODH, S. Analysis of readiness factors for Industry 4.0 implementation in SMEs using COPRAS. **International Journal of Quality e Reliability Management**, 2020.

TORTORELLA, G. L.; GIGLIO, R.; DUN, D. H. VAN. Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. **International Journal of Operations e Production Management**, v. 39, n. 6/7/8, SI, p. 860-886, 2019.

TROTTA, D.; GARENCO, P. Assessing Industry 4.0 Maturity: An Essential Scale for SMEs. **Proceedings**. 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM), Cambridge, England, 2019.

VOUGA, G. C.; AMATUCCI, M.. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Revista Eletrônica de Negócios Internacionais**, v. 10, p. 1-5, 2015.

WAGIRE, A. A. *et al.* Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. **Production Planning e Control**, 2020.

WIESNER, S.; GAIARDELLI, P.; GRITTI, N.; OBERTI, G. Maturity Models for Digitalization in Manufacturing - Applicability for SMEs. In Manufacturing - Applicability for SMEs. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS) **Proceedings**. Seoul, South Korea. pp.81-88, ff10.1007/978-3-319-99707-0_11ff. ffhal-02177846f, 2018.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, v. 4, 2016.