

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

TAMI MARIELI DE ANDRADE BISCHOFF

**PROPOSTA DE UM MODELO DE PRONTIDÃO
DE PMES PARA A INDÚSTRIA 4.0**

PONTA GROSSA

2023

TAMI MARIELI DE ANDRADE BISCHOFF

**PROPOSTA DE UM MODELO DE PRONTIDÃO
DE PMES PARA A INDÚSTRIA 4.0**

Proposal of a readiness assessment model to SMEs to the Industry 4.0

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Luis Mauricio Martins de Resende
Coorientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

PONTA GROSSA

2023



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná Campus Ponta Grossa



TAMI MARIELI DE ANDRADE BISCHOFF

PROPOSTA DE UM MODELO DE PRONTIDÃO DE PMES PARA A INDÚSTRIA 4.0

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 02 de Dezembro
de 2022

Dr. Luis Mauricio Martins De Resende, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Edmundo Escrivao Filho, Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos (Eesc) - Universidade de São Paulo (Usp)

Dra. Eliane Fernandes Pietrovski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Joseane Pontes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 02/12/2022.

Dedico este trabalho à minha família, por todo o
incentivo recebido.

AGRADECIMENTOS

Estudar é uma das minhas ambições, ter um título de mestre um sonho, e sonho bom é aquele em que você não sonha sozinho! Então, quero agradecer às pessoas que além de sonharem comigo me auxiliaram na construção deste trabalho.

Agradeço primeiramente a Deus por estar ainda habitando este mundo e ter vivido esta experiência.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luis Mauricio Resende, por toda paciência, conhecimento e orientações na condução deste trabalho.

Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino, pelo acompanhamento e orientações durante este trabalho.

Agradeço a Prof. Dra. Joseane Pontes pela tranquilidade sempre em suas palavras e por acreditar em mim quando eu ainda não tinha muito a oferecer.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa Engenharia Organizacional e Redes de Empresas EORE, em especial a minha colega Lucimara pela troca de experiências e pelos bons momentos vividos.

Agradeço aos professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) pelos ensinamentos passados nas disciplinas cursadas.

Agradeço a instituição por me proporcionar um ensino de qualidade.

Agradeço aos meus pais por toda a minha educação, especialmente pelo ensino sobre os valores da vida e sou grata por todas as orações feitas para mim.

Agradeço ao meu marido André e ao meu filho Arthur, meus amores, por estarem sempre ao meu lado apoiando e incentivando.

Enfim, agradeço a todos que de algum modo, por mais singelo que seja, auxiliaram nesta trajetória.

RESUMO

A Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (I4.0) tem oportunizado melhorias na eficiência no setor produtivo, particularmente na indústria, a partir de processos de digitalização. A transformação digital é consequência do desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias, oferecendo benefícios para as organizações, mas também desafios, especialmente para Pequenas e Médias Empresas (PMEs). Muitos desafios ocorrem em virtude de algumas características que o porte dessas empresas apresenta. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi propor um modelo para mensuração do nível de prontidão para a I4.0 específico para PMEs. Para tanto, uma pesquisa de caráter aplicada, exploratória e qualitativa foi realizada, com a construção de um portfólio bibliográfico, utilizado como base teórica para a construção do trabalho, por meio de uma revisão de literatura utilizando a Methodi Ordinatio. Através da análise do conteúdo foi possível construir a estrutura de avaliação proposta, que é composta por 26 desafios baseados em 18 características que as empresas podem apresentar, que foram englobados em 4 eixos-capacidades, compondo o modelo de avaliação proposto para avaliar a prontidão digital de PMEs. O modelo de avaliação específico para PMEs fornece uma visão clara dos desafios que essas empresas possuem para transformação digital auxiliando na definição da estratégia individual. Um questionário teste foi aplicado em uma PME prestadora de serviços, onde foi constatado que esta empresa está no nível 2 de prontidão.

Palavras-chave: quarta revolução industrial; indústria 4.0; pequenas e médias empresas; PMEs.

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0 (I4.0) is providing opportunities to improve efficiency and productivity with many challenges for organizations. Digital transformation is a consequence of the development of new I4.0 technologies and this transformation offers benefits for organizations and also challenges, especially for Small and Medium Enterprises (SMEs). Many challenges occur because of some characteristics that these companies have. This study's objective was to propose a model to measure the level of readiness for I4.0 specific to SMEs. For this purpose, an applied, exploratory and qualitative research was developed, with the construction of a bibliographic portfolio, used as a theoretical basis for the construction of the work, through a literature review using the Methodi Ordinatio. The framework proposed is structured in 26 challenges based on 18 characteristics that companies may present, which were grouped into 4 axle-capacities, making up the proposed evaluation model to assess the digital readiness of SMEs, based on their challenges in the transformation process. The SME-specific evaluation model provides a clear view of the challenges that these companies have for digital transformation to help define their individual strategy. A test of the framework was realized in an SME service provider, where it was found that this company is at level 2 of readiness.

Keywords: fourth industrial revolution; industry 4.0; small and medium enterprise; SMEs.

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
ABDI	Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AI	<i>Artificial intelligence</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Capes	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCMS	Company CoMpaSs
Ci	Citações
CMMI	Capability Maturity Model of Industrial 4.0
COTEC	Cooperação Tecnológica
DIEESE	Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos
EORE	Engenharia Organizacional em Redes de Empresas
EIAH	<i>European Investment Advisory Hub</i>
EU	<i>European Union</i>
Fi	Fator de Impacto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I4.0	Indústria 4.0
IoT	<i>Industrial Internet-of-Things</i>
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
ROB	Receita Operacional Bruta
RFID	<i>Radio Frequency IDentification</i>
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENATRAN	Secretaria Nacional de Trânsito
SMEs	<i>Small and medium-sized enterprises</i>
SSTRA	<i>Smart SME Technology Readiness Assessment</i>
TI	Tecnologia da informação.
UE	União Europeia
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura do trabalho.....	24
Figura 2 - Etapas para seleção dos artigos.....	87
Figura 3 - Palavras-chave selecionadas por eixo	88
Figura 4 - Processo de filtragem na pesquisa bibliográfica inicial	90
Figura 5 - Palavras chave mais citadas pelo Software VOSviewer	92
Figura 6 - Composição dos eixos de pesquisa bibliográfica específica.....	93
Figura 7 - Processo de filtragem na pesquisa bibliográfica final	95
Figura 8 – Composição da construção da estrutura conceitual.....	96
Figura 9 - Construção do modelo teórico	97
Figura 10 - Estrutura para avaliar a prontidão de PMEs para a transformação digital com base em seus desafios	112
Figura 11 - Mensuração dos níveis de avaliação.....	118
Figura 12 – Representação do nível prontidão para transformação digital da empresa teste de acordo com o índice calculado.	120
Figura 13 – Representação dos Índices por Eixo-Capacidade	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese dos benefícios que as PMEs podem obter com a I4.0.....	39
Quadro 2 - Síntese das características que PMEs podem apresentar que podem influenciar a transformação digital.....	59
Quadro 3 - Síntese das limitações que as PMEs possuem para a transformação digital.....	61
Quadro 4 – Visão geral dos modelos teóricos encontrados na literatura.....	82
Quadro 5 - Combinação de palavras de busca e quantidade de estudos encontrados.....	88
Quadro 6 - Identificação dos temas da pesquisa inicial.....	91
Quadro 7 - Dimensões avaliadas nos modelos encontrados.....	104
Quadro 8 - Níveis encontrados nos modelos.....	107
Quadro 9 - Construção e abordagem dos modelos encontrados.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das empresas quanto ao faturamento	33
Tabela 2 - Classificação das empresas quanto ao número de funcionários	33
Tabela 3 - Classificação das empresas quanto a receita	34
Tabela 4 - Critérios para classificar uma PME	34
Tabela 5 - Estratégia de busca e seleção dos artigos	94
Tabela 6 - Dimensões identificadas	106
Tabela 7 - Composição das dimensões avaliadas	110
Tabela 8 - Mensuração por eixo do índice de prontidão para transformação digital da empresa teste	119
Tabela 9 - Índice geral de prontidão para transformação digital da empresa-teste	120

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	20
1.2 Justificativa	20
1.3 A relação entre o tema do trabalho, engenharia de produção, linha e o grupo de pesquisa	22
1.4 Estrutura do trabalho	23
2 REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 Quarta Revolução Industrial	25
2.1.1 Indústria 4.0	26
2.1.2 Tecnologias da Indústria 4.0 para PMEs	27
2.2 Pequenas e Médias Empresas	32
2.3 Oportunidades e benefícios que as PMEs podem obter com I4.0	36
2.4 Características e limitações na digitalização das PMEs	39
2.4.1 Características e limitações com relação a pessoas	40
2.4.2 Características e limitações com relação a organização	43
2.4.3 Características e limitações com relação a tecnologia	48
2.4.4 Características e limitações com relação a estratégia	52
2.4.5 Síntese das características e limitações na digitalização das PMEs	59
2.5 Modelos de maturidade e prontidão para avaliar PMES	63
2.5.1 Modelo <i>SME Craftsmanship Self-Assessment</i> de Brozzi <i>et al.</i> (2018):.....	63
2.5.2 Modelo de Mittal <i>et al.</i> (2018).....	64
2.5.3 Modelo de Sheen e Yang (2018)	65
2.5.4 Modelo Smart PMEs 4.0 de Chonsawat e Sopadang (2019).....	65

2.5.5 Modelo de Chonsawat e Sopadang (2020)	66
2.5.6 Modelo de Gamache, Abdul-Nour e Baril (2019)	67
2.5.7 Modelo de Modrak, Soltysova e Poklemba (2019)	67
2.5.8 Modelo de Kolla, Minufekr e Plapper (2019).....	68
2.5.9 Modelo de Trotta e Garengo (2019)	68
2.5.10 Modelo de Brozzi <i>et al.</i> (2020).....	69
2.5.11 Modelo de Dutta <i>et al.</i> (2020)	70
2.5.12 Modelo de Genest e Gamache (2020).....	71
2.5.13 Modelo de Axmann e Harmoko (2020)	71
2.5.14 Modelo CCMS (Company CoMpaSs) de Nick <i>et al.</i> (2020)	72
2.5.15 Modelo de Ottesjö <i>et al.</i> (2020)	73
2.5.16 Modelo de Pirola, Cimini e Pinto (2020)	74
2.5.17 Modelo de Rafael <i>et al.</i> (2020)	76
2.5.18 Modelo de Rauch <i>et al.</i> (2020)	77
2.5.19 Modelo de Amaral e Peças (2021)	78
2.5.20 Modelo <i>Capability Maturity Model of Industrial 4.0 for SMEs</i> (CMMI-SMEs) de Chaopaisarn e Woschank (2021).....	79
2.5.21 Modelo <i>Smart SME Technology Readiness Assessment</i> (SSTRA) de Saad, Bahadori e Jafarnejad (2021).....	80
2.5.22 Modelo de Yezhebay <i>et al.</i> (2021).....	81
2.5.23 Visão geral dos modelos	82
3 METODOLOGIA	85
3.1 Caracterização da pesquisa	85
3.2 Metodologia para a construção do portfólio bibliográfico	85
3.2.1 Pesquisa bibliográfica inicial.....	86
3.2.2 Pesquisa bibliográfica específica	91
3.3 Construção da estrutura conceitual para avaliação de prontidão de PMEs	96

3.4. Teste do modelo proposto	98
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	99
4.1 Resultados da análise de conteúdo da pesquisa inicial	99
4.2 Resultados da análise de conteúdo da pesquisa específica	100
4.2.1 Elementos que compõem um modelo específico pra avaliar transformação digital em PMEs	101
4.2.2 Dimensões de avaliação nos modelos	103
4.2.3 Níveis	107
4.3 Construção do modelo teórico	108
4.3.1 Definição do objetivo do modelo	108
4.3.2 Estabelecimento das dimensões avaliadas e inserção dos desafios nas dimensões avaliadas.....	109
4.3.3 Comparação da proposta em relação a literatura identificada	113
4.3.4 Aplicação do modelo teórico	116
4.3.5 Construção dos níveis de prontidão	117
4.4 Aplicação do modelo de prontidão	119
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
5.1 Análise dos objetivos	122
5.2 Considerações gerais	122
5.3 Contribuições do trabalho	123
5.4 Sugestões para trabalhos futuros	124
REFERÊNCIAS	125

1 INTRODUÇÃO

A chamada Quarta Revolução Industrial está proporcionando às organizações a possibilidade de combinar produtividade e velocidade de resposta ao mercado, tornando o sistema empresarial mais produtivo e competitivo. Porém, como todo processo que impacta na competitividade, empresas que não conseguirem incorporá-lo às suas práticas, correm o risco de serem excluídas de uma competição mundial (ZAMBON *et al.*, 2019).

Schawb (2016) enfatiza que o conceito da Quarta Revolução Industrial, está muito além de estar apenas relacionado a sistemas produtivos inteligentes e conectados. O autor afirma que o que caracteriza essa revolução e a torna diferente das anteriores, é um conjunto de tecnologias que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico. Essas tecnologias, também chamadas de tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0), permitem grandes transformações nas organizações, relacionadas a uma profunda integração de todas as áreas (INGALDI; ULEWICZ, 2020). O termo I4.0 é um sinônimo para a nomear a Quarta Revolução Industrial, e foi utilizado pela primeira vez na feira de Hannover em 2011 (MATT; RAUCH, 2020).

As tecnologias da I4.0 têm impactado as organizações em suas estratégias, na forma de produzir, nas relações com clientes, fornecedores e concorrentes e não diz respeito mais apenas às indústrias ou as formas de produção. A I4.0 é atualmente sobre como as tecnologias digitais são utilizadas por todas as organizações e em todas as áreas da organização para modificar ou construir novos modelos de negócios, aumentar a competitividade e desenvolver um crescimento sustentável (SAUER; ORZES; DAVI, 2021).

O processo de utilizar ou integrar essas tecnologias em uma organização é caracterizado como um processo de transformação digital (GAMACHE; ABDUL-NOUR; BARIL, 2019), como podemos observar nas pesquisas de Gamache, Abdul-Nour e Baril (2019) e Moeuf *et al.* (2018). O que esses autores afirmam em comum é que a maioria das Pequenas e Médias Empresas (PMEs) ainda não implementaram muitas das tecnologias para a transformação digital. Porém, o avanço dessas tecnologias está em ritmo acelerado e as PMEs devem estar preparadas para se adaptarem ao novo ambiente tecnológico, a fim de, obterem todas as vantagens da I4.0 (SAFAR *et al.*, 2018).

A I4.0 é um desafio especial para as empresas em geral, mas quanto menor a empresa, mais intimidadores podem ser os conceitos e tecnologias oriundos desta revolução (RAUCH; DALLASEGA; UNTERHOFER, 2019; PECH; VRCHOTA, 2020).

Um número grande de grandes empresas já iniciou a transformação para a Quarta Revolução Industrial, no entanto PMEs tem tido dificuldades com os passos iniciais ou sequer estão conscientes da necessidade de fazer essa transformação digital (MITTAL *et al.*, 2018; SOMMER, 2015).

Para Birkel *et al.* (2019) as PMEs até agora receberam pouca atenção na pesquisa sobre o uso específico das tecnologias da I4.0. Segundo Muller e Voigt (2018) a investigação falha em não apresentar estudos dedicados às características e exigências especiais das PMEs na I4.0. Em virtude disso os autores recomendam que os pesquisadores considerem cada vez mais as especificidades das PMEs, que como tal têm uma grande importância para a economia e têm requisitos de transformação específicos devido ao menor porte.

Para Masood e Sonntag (2020) mesmo as PMEs representando mais 90% das empresas registradas na Europa, grande parte das pesquisas sobre as tecnologias da I4.0 são desenvolvidas para grandes empresas, estando desconectadas das necessidades dessas empresas. Para Agostini e Nosella (2019) e Sauer, Orzes e Davi (2021) I4.0 é um conceito ainda em desenvolvimento inicial para as PMEs.

Para as PMEs a adoção de tecnologias da I4.0 está concentrada nos custos e benefícios a curto prazo, e essas empresas não têm experiência ou conhecimento prévio das tecnologias da I4.0, portanto a adoção se torna mais complexa e a essa forte visão nos custos tem favorecido a adoção de grupos tecnológicos de baixo custo, para alcançar melhorias mais rápidas e mais baratas nos processos de produção (MOEUF *et al.*, 2018; MASOOD; SONNTAG, 2020).

É notável a importância das PMEs, pois contribuem significativamente para a economia de qualquer país, contribuem para o desenvolvimento social, representando uma elevada proporção no número de empregos e no valor de riqueza gerado. As PMEs em 2016 na União Europeia representavam 99,8% do número total de empresas e neste ano geraram 66,6% do emprego total na UE (RAFAEL, 2020). Em 2018, 98,9% das empresas ativas não financeiras

empregavam menos de 50 pessoas, ou seja, eram PMEs (CORSELLI-NORDBLAD; STRANDELL, 2021).

No Brasil, segundo a 9ª edição do Anuário do Trabalho nos Pequenos Negócios realizado por SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) e DIEESE (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos), o segmento representava 6,8 milhões de estabelecimentos, gerando entre 2006 e 2016 o número expressivo de 5,0 milhões de empregos.

Existe uma relação direta entre o tamanho da empresa e a implementação da I4.0, pois grandes empresas tendem a estar mais bem preparadas para adotarem as novas tecnologias ou processos inovadores, e a principal razão para isso está na quantidade de riscos e obstáculos que as PMEs enfrentam com as grandes transformações (DUTTA *et al.*, 2019; SOMMER, 2015; ZAMBON *et al.*, 2019).

Para Moeuf *et al.* (2018) muitos são os desafios das PMEs rumo a Quarta Revolução Industrial ou a implantação de iniciativas da I4.0 e estes desafios necessitam de mais investigação. Os autores identificaram que as pesquisas se concentram no desenvolvimento de tecnologias da I4.0, evidenciando uma clara necessidade de investigação na validação de caminhos e métodos de implementação. Matt e Rauch (2020) apontaram que a pesquisa relacionada a I4.0 e suas metodologias específicas para PMEs ainda estão em fase inicial, e as existentes para grandes empresas muitas vezes não se adaptam às pequenas empresas, evidenciando a necessidade de mais pesquisa nesta área.

Para Mittal *et al.* (2018) as várias metodologias de auxílio para a transformação digital como: roteiros, quadros e modelos de maturidade e prontidão, desenvolvidos até então para a I4.0, concentram-se em necessidades de grandes empresas e não atendem as necessidades das PMES, pois a maioria delas assumem que as empresas já tem acesso aos recursos necessários ou conhecimento para a transformação digital, ou seja, características de grandes empresas.

Entre as metodologias de auxílio para a transformação digital os modelos de maturidade ou prontidão são ferramentas chave na transformação, especialmente no caso das PMEs, as ferramentas tem um papel fundamental no esclarecimento dos conceitos e dos caminhos para a implantação das tecnologias,

por isso que a construção de uma metodologia para avaliar PMEs deve estar intimamente ligada às necessidades dessas empresas (ZAPATA; TABOUROT, 2020; RAUCH *et al.*, 2020). As avaliações de maturidade e prontidão podem ser usadas como ferramentas de orientação para ajudar as PMEs a se moverem em direção a I4.0 (RAHAMADDULLA *et al.*, 2021).

Modelos de avaliação de prontidão e avaliação de maturidade se diferem na avaliação, pois os modelos de prontidão visam determinar o nível de preparação de uma organização em termos de condições, atitudes e recursos. Já os modelos de maturidade são modelos que ajudam as organizações a alcançar as habilidades esperadas em dimensões específicas como cultura, processos, recursos, etc., por meio de processos de melhoria contínua (MITTAL *et al.*, 2018; STENTOFT *et al.*, 2020).

As avaliações de prontidão normalmente ocorrem antes das empresas embarcarem na jornada de transformação, o processo de avaliação ocorre antes do desenvolvimento de processos de implantação de tecnologias, enquanto que os modelos de maturidade são usados para avaliar o progresso no processo de adoção, a maturidade tecnológica é avaliada a partir a implementação efetiva (RAHAMADDULLA *et al.*, 2021; STENTOFT *et al.*, 2020; RODRIGUES, 2021; MITTAL *et al.* 2018).

Para Saad, Bahadori e Jafarnejad (2021) ambos os modelos, de prontidão ou maturidade, fornecem uma abordagem sistemática de medição das capacidades das PMEs para a implementação da I4.0. Os autores enfatizam que esses modelos avaliam a situação atual em relação aos requisitos da I4.0, além oferecer uma perspectiva clara sobre seus pontos fortes e fracos, identificando as principais barreiras na sua transição para a I4.0, assim essas empresas tornam-se capazes de decidir em quais áreas eles precisam se concentrar para manter seus produtos e operações competitivos.

Ter compreensão das necessidades e desafios enfrentados, assim como entender seu estado atual em relação a I4.0, pode ser crucial para as PMEs explorarem os caminhos possíveis para o futuro nesta revolução (AMARAL; PEÇAS, 2021). Para Rodrigues (2021) é possível visualizar o nível de preparação para a I4.0 avaliando seu nível de prontidão para a I4.0. Dutta *et al.* (2020) diz que a preparação para a implementação da I4.0 nas PMEs deve abordar a redução de

inseguranças e desafios ou riscos em relação ao investimento, proporcionando os benefícios esperados com a transformação.

Modelos de maturidade são muitas vezes utilizados para medir prontidão, em virtude de muitos modelos de avaliação de maturidade avaliarem capacidades de uma organização ou processo, ou seja, medem prontidão. Os resultados de avaliações de maturidade também podem ser utilizados para projetar um estado futuro da organização em relação a implantação de tecnologias (CHONSAWAT *et al.*, 2019; KOLLA; MINUFEKR; PLAPPER, 2019).

Para Stefan *et al.* (2018) os modelos de avaliação de maturidade muitas vezes possuem alta complexidade na avaliação, para que os resultados não sejam superficiais dependem de consultoria externa para a sua aplicação. Outra lacuna dos modelos de maturidade atuais é estarem extremamente focado em aspectos tecnológicos.

Os modelos de maturidade e prontidão existentes destinam-se a grandes empresas, pois a maioria deles presume que todas as empresas possuem especialistas em tecnologias para responder os questionários, o que não é característica comum de uma PME (STEFAN *et al.*, 2018; AXMANN; HARMOKO, 2020), uma ferramenta de avaliação de prontidão para PMES deve possuir um modelo de avaliação simples e ser acompanhada de uma praticidade que permita a autoavaliação (AXMANN; HARMOKO, 2020).

Para Brozzi *et al.* (2021) as PMEs enfrentam mais desafios para a transformação digital em comparação com as grandes empresas. Em virtude disso, é necessário desenvolver uma ferramenta especificamente destinada a elas, uma vez que as ferramentas existentes podem não ter um foco adequado sobre os vários desafios que tais entidades enfrentam.

Para Jesus e Lima (2020) os modelos de avaliação específicos têm por característica principal atender a uma demanda de avaliação de uma condição específica. É comum nesses casos usar um modelo existente genérico como referência e adaptá-lo a condição específica. São construídos e aplicados quando existe a necessidade de abranger requisitos ou objetivos muito específicos ou que envolvam fatores como áreas funcionais (logística ou cadeia de suprimentos), setores econômicos ou países. Para Brozzi *et al.* (2018) uma ferramenta específica,

tem um maior número de itens avaliados e um número reduzido de dimensões avaliadas.

Rauch *et al.* (2020), analisaram a evolução dos modelos de maturidade e prontidão da I4.0 específicos pra PMEs, e concluíram que são necessárias melhorias no desenvolvimento de modelos para avaliação, afirmando que as poucas avaliações específicas existentes não abordam o problema da prontidão das empresas, mas sim os níveis de maturidade associado à implementação da I4.0.

De acordo com a afirmação dos autores tratados até aqui é possível afirmar que existe a necessidade da construção de um modelo de avaliação de prontidão para a transformação digital específico para PMEs.

Este trabalho contempla a especificidade relativa à uma categoria de empresas, as de pequeno e médio porte, designadas PMEs e aborda o problema da prontidão dessas empresas para a transformação digital, relacionado aos desafios que essas empresas possuem, assim busca desenvolver uma forma estruturada específica para as PMEs avaliarem seu nível de preparação para transformação digital proporcionada pela I4.0, para assim se manterem competitivas, o que nos leva à questão de pesquisa desse trabalho: **como construir uma ferramenta para PMEs de avaliação da prontidão para a Quarta Revolução Industrial?**

O modelo de avaliação para I4.0 desenvolvido neste trabalho é denominado específico para avaliar PMEs em virtude de avaliar os desafios que essas empresas podem enfrentar para a implantação da I4.0 e ser construído de forma específica contemplando as características dessas empresas.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho estão estruturados em geral e específicos, sendo o objetivo geral composto pelos objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Propor um modelo para mensuração do nível de prontidão para a I4.0 específico para PMEs.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1) Identificar na literatura os benefícios que as PMEs podem obter com a implementação da I4.0;
- 2) Identificar na literatura os influenciadores da implementação da I4.0 em PMES;
- 3) Identificar na literatura modelos para avaliação de maturidade e prontidão para a implementação da I4.0 específicos para PMEs;
- 4) Construir um modelo teórico para mensuração do nível de prontidão para a I4.0 específico para PMEs;
- 5) Construir uma ferramenta de mensuração do nível de prontidão para a I4.0 através do modelo teórico proposto.

1.2 Justificativa

O presente trabalho pretendeu desenvolver uma ferramenta que possibilite às PMEs avaliarem sua preparação para a transformação digital, determinado quais dimensões da empresa necessitam de atenção. A seguir busca-se demonstrar a importância dos conceitos tratados neste trabalho.

A I4.0 possibilita às empresas combinar alta produtividade e resposta rápida ao mercado, tornando essas empresas competitivas. A pesquisa sobre o tema I4.0 está atualmente avançada, do ponto de vista científico e prático, em virtude de muitas empresas já utilizarem as tecnologias da I4.0. No entanto para algumas categorias de empresas as pesquisas são restritas ou somente teóricas, como é o caso das PMEs, que podem encontrar na I4.0 mais desafios e dificuldades do que vantagens ou benefícios (ZABOM *et al.*, 2019). Com base nessas afirmações de Zabom *et al.* (2019) podemos entender que o tema I4.0 é de extrema importância para as PMEs e de importante relevância para a pesquisa científica.

A respeito das transformações que ocorrem em uma empresa que avança para a Quarta Revolução Industrial, Agostini e Nosella (2019) afirmam que essa transformação está longe de ser apenas uma questão tecnológica, pois o objeto desta transformação é a empresa como um todo, necessitando assim, de uma compreensão mais profunda da dinâmica da preparação dessas empresas para caminharem para a I4.0, e os autores afirmam que para as PMEs esse tema é ainda

sub investigado, apontando uma lacuna a ser preenchida por essa pesquisa, que é a investigação da preparação das PMEs para a I4.0.

O uso de tecnologias da I4.0 em PMEs, permanecem em seus estágios iniciais de implementação e os estudos sobre esse tema permanecem escassos em PMEs. Além disso, a pesquisa necessita de estudos que sejam dedicados às características, requisitos e dificuldades especiais das PMEs (MUELLER, BULIGA, VOIGT; 2018).

Horváth e Szabó (2019) afirmam que a literatura, assim como o resultado da pesquisa realizada pelos autores, que a Quarta a Revolução Industrial apresenta uma série de desafios para as empresas e é ainda mais desafiador para as PMEs. Para Agostini e Nosella (2020), em geral as PMEs enfrentam mais obstáculos em relação às grandes empresas para a transformação digital.

Os estudos em relação a I4.0 em PMES são iniciais, especialmente relacionadas a aspectos gerenciais e organizacionais para a transformação digital em PMEs (AGOSTINI; NOSELLA, 2020; HORVÁTH; SZABÓ, 2019).

Matt e Rauch (2020) em uma pesquisa sobre o estado da arte sobre I4.0 e PMEs, utilizaram o termo “infância” para determinar o estado da pesquisa sobre o tema, indicando que existe principalmente espaço para melhorias no desenvolvimento de modelos para avaliação de empresas para transformação para a I4.0, especialmente para a preparação de PMEs.

Para Stentof *et al.* (2021) o nível de prontidão das PMEs é baixo em comparação com empresas maiores, com esse resultado os autores indicam a necessidade maiores esforços para preparar as PMEs para transformação digital.

Assim, este trabalho se justifica por contribuir com tema I4.0 e PME, pois busca enriquecer a evolução dos modelos de avaliação da I4.0 com foco específico às PMEs. Além disso, aborda o problema de avaliação do problema de preparação para a I4.0 das PMEs.

Considerando a literatura apresentada o trabalho possui relevância por apresentar contribuição acadêmica, social e econômica.

Contribuição acadêmica: existem poucos estudos sobre a I4.0 relacionados a PMEs. Nesta situação de escassez este estudo contribui com novas direções e ideias, podendo contribuir com pesquisadores que trabalham com o tema.

Contribuição social: é possível perceber que em PMEs existem singularidades que necessitam de políticas governamentais especiais, este trabalho oferece a gestores governamentais informações sobre I4.0 e PMEs, que pode auxiliar no planejamento adequado para PMEs para a inserção na I4.0.

Contribuição Econômica: com a construção de uma ferramenta estruturada e específica para PMES, para diagnosticar o quão prontas as elas estão para transformação digital com base em seus desafios, o estudo oferece um auxílio para os gestores em suas tomadas de decisões.

Assim o resultado dessa pesquisa consiste numa ferramenta que poderá ser utilizada pelas empresas PMEs para avaliar o seu nível de prontidão para I4.0, assim essas empresas poderão compreender seu estado atual para a I4.0, onde é possível identificar os desafios para explorar possíveis futuros caminhos para trilhar nessa revolução.

1.3 A relação entre o tema do trabalho, engenharia de produção, linha e o grupo de pesquisa

O presente trabalho está inserido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Gestão da Produção e Manutenção, e ao grupo de pesquisa Engenharia Organizacional em Redes de Empresas (EORE). Segundo a ABREPO (2021) Engenharia Organizacional é uma área da engenharia de produção, que abrange um conjunto de conhecimentos relacionados com a gestão das organizações, abrangendo “planejamento estratégico e operacional, as estratégias de produção, a gestão empreendedora, a propriedade intelectual, a avaliação de desempenho organizacional, os sistemas de informação e sua gestão, e os arranjos produtivos”.

Assim é possível relacionar a temática deste trabalho, com o tema de I4.0 em Pequenas e Médias Empresas, com o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), a linha de pesquisa Gestão da Produção e Manutenção, e com grupo de estudo Engenharia Organizacional em Redes de Empresas (EORE), uma vez que o trabalho contribuirá para o desenvolvimento dos conceitos voltados a Engenharia de Produção, especificamente a Engenharia

Organizacional, pois a partir dele é possível promover melhorias na gestão das organizações em sua inserção na I4.0, especificamente para PMEs.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em 5 capítulos: o primeiro capítulo traz a introdução que aborda os principais temas que constituem este trabalho, juntamente com a problemática. Neste capítulo também são descritos o objetivo geral e específicos, seguido da justificativa para a realização da pesquisa.

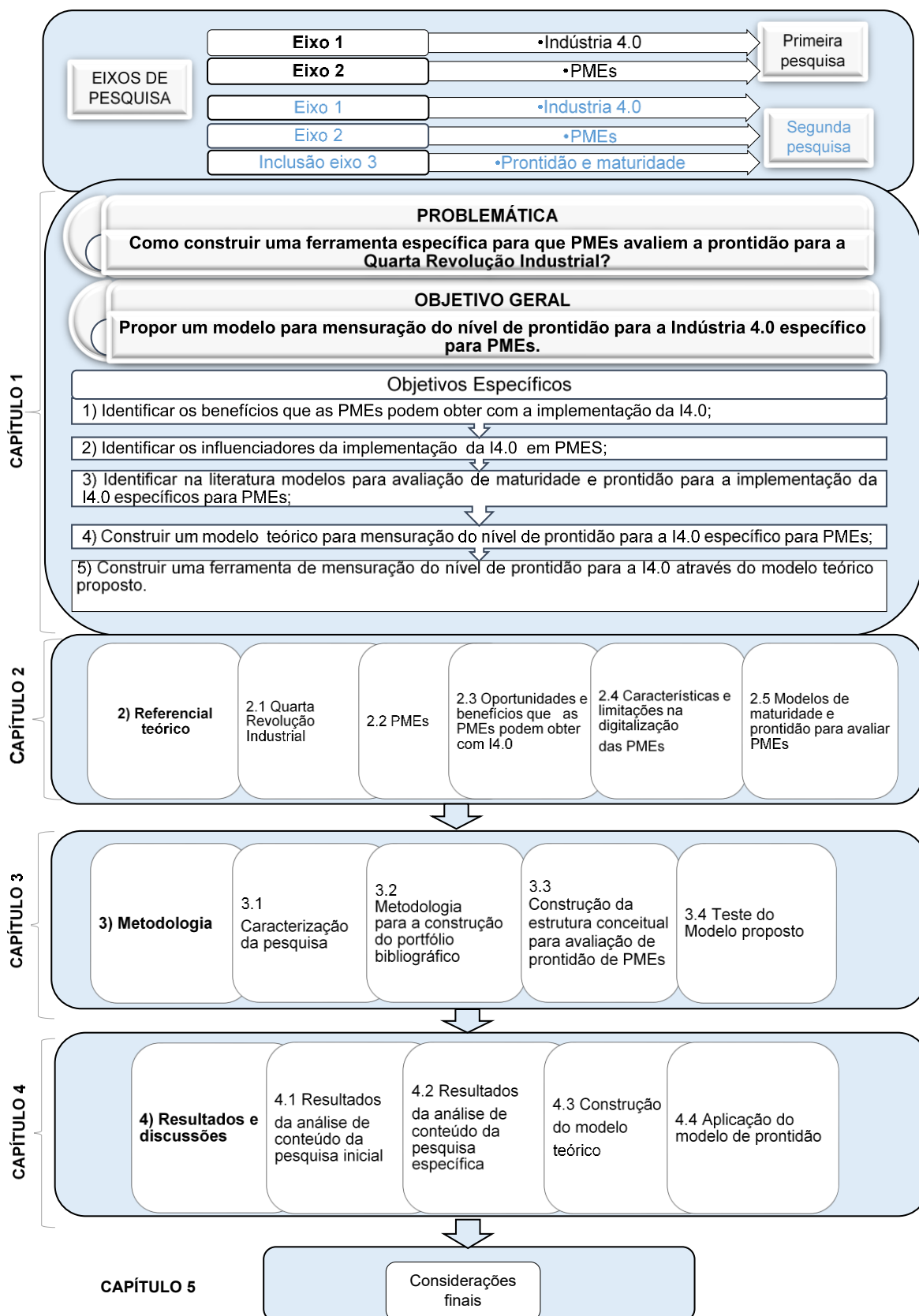
O segundo capítulo é composto pelo referencial teórico, apresentando as discussões e resultados da pesquisa bibliográfica, apresentando os principais autores sobre o tema, I4.0 em PMEs e modelos de maturidade e prontidão específicos para PMES, utilizadas para embasar essa pesquisa.

O terceiro capítulo é utilizado para apresentação da metodologia, ou seja, os caminhos seguidos para o cumprimento dos objetivos propostos. Este capítulo é composto por quatro seções, a primeira apresenta a caracterização da pesquisa, a segunda traz a metodologia para a construção do portfólio bibliográfico utilizado para a base teórica da pesquisa inicial e apresenta também a metodologia para a construção do portfólio de artigos para a pesquisa específica. A terceira seção apresenta o caminho percorrido para a construção do modelo teórico e a última apresenta o teste do modelo proposto.

O quarto capítulo é destinado para apresentação das discussões e apresentação dos resultados e o último capítulo apresenta as considerações finais.

Na figura 1 é possível visualizar a composição deste trabalho.

Figura 1- Estrutura do trabalho



Fonte: Autoria própria (2022)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta de modo estruturado e aprofundado os principais conceitos encontrados na literatura sobre I4.0 em PMEs, que são os temas centrais relacionados ao problema de pesquisa que é a preparação das PMES para a adoção de tecnologias da I4.0.

No presente estudo, o referencial teórico discorre sobre 5 temas de relevância para o trabalho: I4.0 e suas tecnologias, pequenas e médias empresas, oportunidades e benefícios que essas empresas podem obter com I4.0, assim como as limitações que elas encontram na digitalização e modelos de maturidade e prontidão construídos especificamente para avaliar PMEs encontrados na literatura.

2.1 Quarta Revolução Industrial

Para descrever as três primeiras revoluções industriais e caracterizar a Quarta Revolução Industrial existem várias definições acadêmicas. Cada revolução industrial gerou muitas transformações para a sociedade, cada uma a sua época (ABDI (Agencia Brasileira para o Desenvolvimento Industrial);2020). A produção em massa, as linhas de montagem, a energia elétrica e a tecnologia da informação, elevaram a competição tecnológica e o desenvolvimento econômico nas três primeiras revoluções industriais. “A quarta revolução industrial, tem um impacto mais profundo e exponencial, se caracteriza, por um conjunto de tecnologias que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico” (ABDI, 2020).

A Primeira Revolução Industrial provocou um crescimento expressivo da indústria, a Segunda Revolução Industrial trouxe o desenvolvimento da eletricidade e da produção em massa em grandes empresas. A Terceira Revolução Industrial ou Revolução Digital, começou na segunda metade do século XX, a partir do desenvolvimento do computador pessoal, da Internet e outras tecnologias de informação e comunicação. A Quarta Revolução Industrial apresenta como característica uma internet globalmente difundida e móvel, sensores menores e mais poderosos, pela inteligência artificial e aprendizagem das máquinas (SCHWAB, 2016).

A Quarta Revolução Industrial foi inicialmente estudada por Klaus Schwab, fundador e presidente executivo do Fórum Econômico Mundial, que em seu livro *A Quarta Revolução Industrial*, publicado em 2016, afirmou que a Quarta Revolução Industrial teve início na virada do século baseando-se na revolução digital. E é desta revolução que surge o termo I4.0, que segundo Schwab (2016) foi inicialmente discutido na Alemanha, tendo sido moldado na feira Hannover em 2011, para descrever como as “fábricas inteligentes” criariam um mundo onde os sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperariam, permitindo a personalização de produtos e a criação de novos modelos operacionais.

Em contraste com as revoluções industriais anteriores esta revolução foi impulsionada por um novo comportamento social, enquanto que as revoluções anteriores foram impulsionadas pela própria indústria de produção (SCHUH *et al.*, 2015). Ainda, a I4.0 é impulsionada por um uso de dispositivos inteligentes interconectados, com mudanças na interconectividade com uso de redes sociais e de dispositivos inteligentes (SCHWAB, 2016).

2.1.1 Indústria 4.0

Para Bär, Herbert-Hansen e Khalid (2018) a literatura apresenta várias definições diferentes para I4.0, mas o ponto em que os autores encontraram concordância foi de que as mudanças tecnológicas atuais, referidas como a Quarta Revolução Industrial, possibilitam uma produção inteligente e uma atividade empresarial orientada para o cliente, então a I4.0 é resultado da utilização dessas novas tecnologias.

A I4.0 utiliza-se de tecnologias pilares para gerar seus benefícios, ou seja, utiliza-se dessas tecnologias para tornar o progresso tecnológico possível. (DUTTA *et al.*, 2020; MUBAROK, 2020).

Pode-se entender a I4.0 como a utilização de diversas tecnologias avançadas que integrem a visualização e análise inteligente de processos autônomos, onde haja aprendizado de máquinas em fábricas inteligentes, fornecendo produtos ou serviços inteligentes, proporcionado a conexão de pessoas, objetos e sistemas baseados em uma comunicação de dados em tempo real e com transparência (HORVÁT; SZABÓ, 2019; MUBAROK, 2020; PRAUSE, 2019).

O processo de integração dessas tecnologias digitais nas empresas é descrito como transformação digital e é utilizado pelas empresas na transição para a I4.0 (GAMACHE *et al.*, 2019; GARZONI; TURI, 2020). Então a transformação digital ou também chamada de digitalização caracteriza-se por usar novas tecnologias, para tornar processos de criação de valor eficientes e eficazes, essa transformação vai além da melhoria de produtos e processos ela atinge também: os modelos de negócios, aspectos organizacionais e de gestão como um todo, criando desafios significativos para as empresas (HORVÁT; SZABÓ, 2019).

Essas definições permitem observar um perfil tecnológico nessa transformação digital, esse perfil muitas vezes predominantemente tecnológico se dá ao fato das pesquisas estarem concentradas do desenvolvimento das tecnologias da I4.0 (MOEUF *et al.*, 2018). No entanto, segundo Garzoni e Turi (2020) além desse perfil tecnológico, a I4.0 apresenta também um perfil sociotécnico e ambiental. Para os autores em virtude disso existe a necessidade das empresas desenvolverem capacidades para adaptar todo o modelo empresarial a essas novas tecnologias.

2.1.2 Tecnologias da Indústria 4.0 para PMEs

A I4.0, de acordo com as afirmações anteriores, consiste em uma série de novas tecnologias. A literatura apresenta um crescente número de tecnologias da I4.0, no entanto, mesmo com um crescente número, a maioria delas são sub exploradas ou ignoradas por PMEs (MOEUF *et al.*, 2018).

Tecnologias mais baratas e conseqüentemente menos disruptivas são as mais exploradas nas PMEs, enquanto que aquelas que permitem profundas transformações empresariais ainda são negligenciados pelas PMEs. (MOEUF *et al.*, 2018; PIROLA; CIMINI; PINTO, 2019).

As principais encontradas são descritas a seguir com uma breve discussão sobre o que a literatura apresenta sobre a utilização dessas tecnologias em PMEs.

Internet Industrial das Coisas ou *Industrial Internet-of-Things* (IoT): as novas tecnologias, chamadas disruptivas, podem agora fornecer capacidades de conexão e comunicação a objetos físicos através da internet. Essa comunicação, que pode ser em tempo real, combinando o alcance global da internet com capacidade industrial de controlar, coordenar e gerenciar o mundo físico de

mercadorias, máquinas, fábricas e infraestrutura. Essa comunicação também pode ser utilizada para monitorizar vários produtos e sistemas, facilitando assim a descentralização de tomada de decisões (BAR; HERBERT-HANSEN; KHALI, 2018; DUTTA *et al.* 2019; MITTAL *et al.*, 2018; MOEUF *et al.*, 2018; MUBAROK, 2020).

Para PMEs algumas tecnologias de IoT já estão em operação, é o que diz Dutta *et al.* (2019), em que alguns dispositivos menos disruptivos já são utilizados por essas empresas como: sensores, atuadores e *gateways* para agregação de dados, armazenamento de dados e conectividade com esses dados. Uma PME fabricante quando equipada com uma variedade de máquinas tradicionais, estas máquinas precisam transmitir dados operacionais, assim essas máquinas tradicionais são equipadas com sensores ou atuadores e demais dispositivos de IoT (DUTTA *et al.*, 2019).

Com relação a um sistema produtivo inteligente, Masood e Sonntag (2020) afirmam que as fábricas inteligentes estão se tornando cada vez mais populares entre as PMEs, consequência do uso de tecnologias da I4.0, como, Internet das Coisas e Sistemas Físicos Cibernéticos.

Também relacionado ao sistema produtivo das PMEs, a revisão de literatura de Moeuf *et al.* (2018) concluiu que as tecnologias da I4.0 utilizadas por PMEs estão principalmente relacionadas com o monitoramento dos processos de produção e a melhoria das atuais capacidades.

Computação em Nuvem ou *Cloud Computing*: tecnologias como a utilização da nuvem, a comunicação e a troca de informações podem ser multiplicadas, fornecendo meios fáceis de conectividade de rede. O acesso a múltiplos sistemas e redes em tempo real podem assegurar que os dados e aplicações estejam disponíveis em qualquer momento e em qualquer lugar (DUTTA *et al.*, 2019; MOEUF *et al.*, 2018; MUBAROK, 2020; TERMINANTO; HIDAYANTO; NUGROHO, 2019).

A computação em nuvem é muito utilizada por PMEs (MOEUF *et al.*, 2018) elas podem usar soluções baseadas em nuvens para melhorar suas atividades e melhorar a sua eficiência ou de seus clientes, é o que diz Dutta *et al.* (2019), um exemplo da utilização da computação em nuvem que beneficia ambos é, diagnósticos remotos que podem reduzir ou eliminar visitas de técnicos a clientes. Outra possibilidade apresentada pelos autores com a computação em nuvem é o

aprimoramento de um produto através de gêmeos digitais virtuais com o desempenho real do produto.

A computação em nuvem é a principal tecnologia da I4.0 que pode beneficiar as PMEs, pois ela permite que os recursos sejam acessados e usados de qualquer lugar. Além disso, permite que coisas ou objetos inteligentes sejam colocados em qualquer lugar. A implementação desta tecnologia torna o sistema mais confiável e melhora a transparência dentro a organização (HASEEB *et al.*, 2019; NARWANE *et al.*, 2019; PIROLA; CIMINI; PINTO, 2019).

Cibersegurança ou Cybersecurity: é a tecnologia de segurança cibernética, sistemas de segurança contra ataques cibernéticos em dados. Assegurando ao usuário um maior número de canais de comunicação, com menor potencial de riscos e sem reduzir o desempenho (MOEUF *et al.*; 2018; MUBAROK *et al.*, 2020).

Análise de Grandes Dados ou Big Data Analytics: conjuntos de dados caracterizados por um alto volume, velocidade e natureza de diferentes formas ou tipos. Para que esses dados sejam transformados em informação e conhecimento são necessárias tecnologias com múltiplas ferramentas e técnicas analíticas. Esses dados podem ser analisados e explorados diretamente no local de coleta ou através da computação em nuvem (DUTTA *et al.*, 2019; MATT; RAUCH, 2020; MITTAL *et al.*, 2018; MUBAROK, 2020). Para Dutta *et al.* (2019) as PMEs precisam considerar a análise de grandes dados pois o uso pode lhes proporcionar vantagem competitiva.

Robótica avançada ou Advanced Robotics: também chamados de Robôs colaborativos, com tecnologias de sensores integrados, estão se tornando cada vez mais flexíveis, comunicativos e cooperativos e se conectando cada vez mais com máquinas, produtos e com humanos (MOEUF *et al.*, 2018; MUBAROK, 2020).

Para Dutta *et al.* 2019 os robôs autônomos podem ser apontados como uma das tecnologias disruptivas a serem aproveitadas pelas PMEs para personalização em massa, já que a produção de PMEs se caracteriza por possuir uma maior personalização por parte dos clientes.

Os robôs podem atuar em PMEs como sistemas de assistência digital inteligente para trabalhadores humanos (MATT; RAUCH, 2020). Pirola, Cimini e

Pinto (2019) identificaram que em relação à robótica, geralmente as PMEs utilizam a robótica tradicional para mover produtos e componentes nas linhas de produção.

Manufatura Aditiva ou *Additive Manufacturing*: apresentada também como impressão 3D ou impressão camada a camada, com a capacidade de criar e produzir peças complexas. (MITTAL *et al.*, 2018; MUBAROK, 2020). Na pesquisa de Pirola, Cimini e Pinto (2019) os gestores declararam utilizar a impressão 3D apenas para a produção de amostras e protótipos, apontando que essa tecnologia não é explorada por PMEs.

Realidade aumentada (RA) ou *Augmented Reality* / Realidade Virtual (RV) ou *Virtual Reality*: os óculos inteligentes e outras tecnologias de realidade aumentada criam um ambiente artificial ou virtual do mundo real podendo ser usados para simular um ambiente que contenham objetos reais e simulados, utilizados também para melhorar o design e processos de fabricação (BAR; HERBERT-HANSEN; KHALID, 2018; MITTAL *et al.*, 2018; MOEUF *et al.* 2018).

Essa tecnologia é utilizada em PMEs inteligentes, é o que observou Dutta *et al.* (2019), essas empresas de fabricação inteligente se utilizam dessa tecnologia, uma vez que é estabelecida uma linha de produção física, os trabalhadores do chão de fábrica utilizam a RA e RV para treinamento, com animações do processo produtivo para a redução de erros.

Simulação ou *Simulation*: a integração de diferentes ferramentas que permitem aos gestores simular o desempenho de todos os aspectos de um sistema de produção, permitindo a análise do comportamento do produto, do desempenho das linhas de produção, conduzindo assim à otimização de todos os processos e operações industriais (MOEUF *et al.*; 2018; MUBAROK, 2020).

Para Dutta *et al.* (2019), o objetivo da simulação é a inovação bem sucedida do desenvolvimento de novos produtos ou melhorias para produtos existentes, para os autores isso é especialmente interessante para as PMES pois podem reduzir o fracasso nas inovações, já que essas empresas dispõem de pouco capital a ser investido.

Gêmeo Digital ou *Digital-twin*: consiste em um modelo digital de um produto ou processo físico, retiram-se dados de objetos físicos e usa-se a inteligência computacional para otimizar suas operações, fornecendo modelagem

3D e visualização 4D do objeto físico (MITTAL *et al.*, 2018; MOEUF *et al.* 2018; HANSEN; BOGH, 2020).

Sistemas Ciberfísico ou *Cyber-Physical Systems*: são sistemas de entidades computacionais colaborativas, em processo contínuo, que fornecem e usam, ao mesmo tempo, acesso e serviços de processamento de dados disponíveis na Internet, estes mecanismos permitem controlar e monitorizar através de algoritmos diretamente integrados nos sistemas, em conexão com o mundo físico à sua volta. Isto permite que os objetos se comuniquem com o seu ambiente e configurem em tempo real respostas a novas necessidades que possam surgir (BÄR; HERBERT-HANSEN; KHALID, 2018; MOEUF *et al.*; 2018; MUBAROK, 2020).

Comunicação máquina a máquina ou *Machine To Machine Communication*: as tecnologias de comunicação estão crescendo rapidamente com a utilização de um número maior de máquinas autônomas. Essas máquinas possuem protocolos padrão de comunicação que permite uma gestão autônoma de organizações industriais (MOEUF *et al.*, 2018).

No entanto Pirola, Cimini e Pinto (2019) pesquisaram PMES manufatureiras, a fim de se descobrir quais tecnologias utilizavam, concluindo que a maioria dos pesquisados utilizavam sistemas tradicionais de fabricação, com alto nível de automação, mas sem comunicação entre as máquinas e sem monitoramento.

RFID ou *Radio Frequency Identification*: é a utilização de sensores com tecnologias que utilizam a frequência de rádio para captura de dados e o rastreamento de dispositivos, o objetivo é criar um processo completo e inventário transparente através do rastreio de fluxos de material em tempo real (BAR *et al.*,2018; HANSEN; KHALID, 2018). Para Moeuf 2018, muitos casos de uso de ferramentas de RFID são notados PMES manufatureiras, já a pesquisa de Pirola, Cimini e Pinto (2019) observou um número menor da utilização de **RFID** e um número maior de adoção de algum sistema de rastreabilidade, como código de barras.

Inteligência Artificial ou *Artificial intelligence (AI)*: sistemas inteligentes que tomam decisões de forma autônoma e executam tarefas baseados em padrões. Reduzindo a necessidade de interação humana com as máquinas (BAR *et al.*,2018). Pirola, Cimini e Pinto (2019) entrevistaram PMEs quanto a utilização

desta tecnologia, e com relação a amostra, os autores consideraram a utilização baixa ou nula, pois nenhuma das PMEs entrevistadas na pesquisa utilizavam a inteligência artificial.

A utilização de tecnologias da I4.0 em PMEs ainda está em fase inicial e essas empresas tendem a buscar tecnologias de baixo custo e baixo impacto de transformação, particularmente as tecnologias que estejam diretamente relacionadas com a produtividade do sistema de produção, focadas na melhoria da qualidade e segurança dos processos de fabricação, ou seja, tecnologias baratas que tragam melhorias rápidas nos processos de produção, sem realmente transformar as trocas entre fabricantes e clientes (BOSMAN; HARTMAN; SUTHERLAND, 2019; PIROLA *et al.*, 2019; COTRINO; SEBASTIÁN; GONZÁLEZ-GAYA, 2020; MASOOD; SONNTAG, 2020; MOEUF *et al.*, 2018).

A adoção de tecnologias por PMEs é muito específica, como observam Masood e Sonntag (2020), pois as prioridades dessas empresas diferem de prioridades de grandes empresas com relação ao uso das tecnologias da I4.0, assim o comportamento de adoção das PMEs é diferente em comparação com grandes empresas com mais oportunidades e recursos (SEVIÇ *et al.*, 2018).

Para Birkel *et al.* (2019) as PMEs até agora receberam pouca atenção na pesquisa sobre o uso específico das tecnologias da I4.0. Segundo Muller e Voigt (2018) a investigação falha em não apresentar estudos dedicados às características e exigências especiais das PMEs na I4.0. Em virtude disso os autores recomendam que se considere cada vez mais as especificidades das PME, nas pesquisas sobre as novas tecnologias da I4.0.

2.2 Pequenas e Médias Empresas

A definição de um conceito ou critério de classificação do que é uma PME é um desafio no Brasil, assim como os critérios são distintos entre os diversos países. Inúmeros agentes envolvidos nesta questão utilizam-se de critérios diferenciados de classificação quanto ao porte de uma empresa. Que podem ser quanto a Receita Operacional Bruta (ROB) anual e quantidade de empregados formais da empresa ou a combinação de ambos (NOGUEIRA, 2016).

Atualmente a Legislação Brasileira através da a Lei Complementar nº 147/2014 e a nº 155/2016 estabelece o critério de faturamento para classificar os tamanhos das empresas para tributação. Como é possível observar na tabela 3, as microempresas são as que possuem um faturamento anual de no máximo R\$ 360 mil por ano. As pequenas ou de pequeno porte devem faturar entre R\$ 360.000,01 e R\$ 4.800.000,00 anualmente para ser enquadradas.

Tabela 1 - Classificação das empresas quanto ao faturamento

<u>CLASSIFICAÇÃO</u>	RECEITA OPERACIONAL BRUTA ANUAL OU RENDA ANUAL
Microempresa	Menor ou igual a R\$ 360 mil
Pequena empresa	Maior que R\$ 360 mil e menor ou igual a R\$ 4,8 milhões
Média empresa	Maior que R\$ 4,8 milhões e menor ou igual a R\$ 300 milhões
Grande empresa	Maior que R\$ 300 milhões

Fonte: Lei Complementar nº 147/2014 e a nº 155/2016

Outros órgãos, como o SEBRAE e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), utilizam o critério do número de empregados, limitando as microempresas às que empregam até nove pessoas no caso do comércio e serviços, ou até 19, no caso dos setores industriais ou de construção. Já as pequenas empresas são definidas como as que empregam de 10 a 49 pessoas, no caso de comércio e serviços, e 20 a 99 pessoas, no caso de indústria e empresas de construção. Para médias empresas o número de empregados é de 100 até 499 para a indústria e empresas de construção e 50 a 99 para as de comércio e serviços. São consideradas grandes empresas as que possuem mais de 500 empregados na indústria e empresas de construção com mais de 100 empregados no comércio e serviços. A tabela 3 apresenta a classificação de acordo pelo SEBRAE e IBGE.

Tabela 2 - Classificação das empresas quanto ao número de funcionários

<u>CLASSIFICAÇÃO</u>	Indústria e Construção	Serviços e Comércio
Microempresa	com até 19 empregados	até 9 empregados
Pequena empresa	de 20 a 99 empregados	de 10 a 49 empregados
Média empresa	100 a 499 empregados	de 50 a 99 empregados

Grande empresa	mais de 500 empregados	mais de 100 empregados
-----------------------	------------------------	------------------------

Fonte: SEBRAE e IBGE (2020)

A classificação do BNDS (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) é baseada em ROB (Receita Operacional Bruta) anual, para fim de estabelecer linhas de crédito, como pode ser observado na tabela 4 a classificação segue sendo: microempresa com ROB anual inferior ou igual a R\$ 360 mil; pequena empresa com ROB anual superior a R\$ 360 mil e inferior ou igual a R\$ 4,8 milhões; média empresa com ROB anual superior a R\$ 4,8 milhões e inferior ou igual a R\$ 300 milhões; grande empresa com ROB anual superior a R\$ 300 milhões.

Tabela 3 - Classificação das empresas quanto a receita

CLASSIFICAÇÃO	RECEITA OPERACIONAL BRUTA ANUAL OU RENDA ANUAL
Microempresa	Menor ou igual a R\$ 360 mil
Pequena empresa	Maior que R\$ 360 mil e menor ou igual a R\$ 4,8 milhões
Média empresa	Maior que R\$ 4,8 milhões e menor ou igual a R\$ 300 milhões
Grande empresa	Maior que R\$ 300 milhões

Fonte: BNDS (2020)

A União Europeia utiliza como critérios para classificar uma PME, o número de empregados, volume de negócios anual e balanço total anual, conforme descrito na definição de PME no Guia do Utilizador da Comissão Europeia (2015), conforme tabela 4.

Tabela 4: Critérios para classificar uma PME

CLASSIFICAÇÃO	Número de empregados	Volume de negócios anual	Balanço total anual
Microempresa	< 10	≤ 2 milhões de euro	≤ 2 milhões de euros
Pequena empresa	< 50	≤ 10 milhões de euros	≤ 10 milhões de euros
Média empresa	< 250	≤ 50 milhões de euros	≤ 43 milhões de euros

Fonte: Guia do utilizador relativo à definição de PME (2015)

Um estudo sobre participação de micro e pequenas empresas na economia brasileira, realizado pela Fundação Getúlio Vargas em parceria com o SEBRAE,

realizado em 2020, destacou que “no Brasil, as Micro e Pequenas Empresas respondem por cerca de 30% da produção de riqueza do País, e esse valor adicionado tem se mostrado consistente ao longo dos anos”. O estudo aponta que as MPEs são responsáveis por 51% do emprego gerado no país e tem maior concentração nas atividades de comércio e serviços. Com relação a produtividade o estudo conclui que as MPEs apresentam índices mais baixos que as grandes empresas, apontando como a causa destes baixos índices a necessidade de mão-de-obra qualificada, menores oportunidades de mecanização de processo produtivo e falta de possibilidade de escalabilidade de produção.

A contribuição das PMEs nos países da União Europeia (UE) segundo um estudo realizado em 2019, pela COTEC Portugal (Associação Empresarial para a Inovação) e o Centro Europeu de Assessoria para o Investimento (EIAH), as PMEs desempenham um papel fundamental na economia da UE, particularmente importante na economia empresarial de Portugal.

Como exemplo das primeiras iniciativas da UE em pesquisa para investigar a introdução da I4.0 nas PMEs, Matt e Rauch (2020) apontam o projeto “*Industry 4.0 for SMEs - Smart Manufacturing and Logistics for SMEs in an X-toorder and Mass Customization Environment*” que recebeu um aporte financeiro significativo, a pesquisa aconteceu entre 2017 e 2020. Segundo endereço eletrônico do projeto sme40.eu (2021) o projeto ganhou a sigla SME4.0, tem 49 pesquisadores de 7 universidades e teve como um dos resultados a publicação de dois livros e muitos artigos científicos.

É possível perceber que as PMEs são cruciais em qualquer país e necessitam receber auxílio para atravessar seu processo de desenvolvimento, já que enfrentam muitos desafios. No Brasil, uma pesquisa da Confederação Nacional da Indústria (2020) realizada com gestores de empresas Industriais, demonstrou atraso tecnológico e dificuldades para PMEs adotarem as tecnologias da Indústria 4.0, a pesquisa entrevistou 24 empresas, sendo que 5 foram caracterizadas como PMEs, embora essas empresas apresentem conhecimento sobre as tecnologias, afirmam enfrentar muitas dificuldades na adoção de tecnologias.

No Brasil é possível encontrar movimentos discretos de incentivo e pesquisa para apoiar PMEs no uso das tecnologias da I4.0, um exemplo é o programa da ABDI chamado Digital.BR, segundo o site do programa, este programa tem objetivo

de dar apoio financeiro e metodológico a projetos com foco na transformação digital de MPEs.

A importância das PMEs vai além da geração de renda e emprego ou produção de riqueza, Sommer (2015) destacou o papel importante das PMEs, como participantes da rede de fornecedores de grandes empresas que já estão incluídas no contexto da I4.0, o autor reforça que as PMEs devem ser apoiadas, com soluções específicas, um vez que possuem desafios financeiros, tecnológicos e de pessoal, por isso têm de ser apoiadas individualmente, assim essas empresas terão condições de lidar com os desafios da transformação digital.

A seguir são apontados os principais benefícios ou oportunidades que a literatura estudada apresentou em relação a utilização de tecnologias da I4.0 em PMEs.

2.3 Oportunidades e benefícios que as PMEs podem obter com I4.0

Existe uma tendência de que empresas maiores estejam formando a maioria das empresas que adotam tecnologias da I4.0, isto possivelmente porque quanto maior a empresa mais aparente são os benefícios (MASOOD; SONNTAG, 2020; MULLER; VOIGT, 2018).

No entanto é possível que as PMEs obtenham benefícios com a adoção de tecnologias da I4.0, como flexibilidade, redução de custos, aumento da eficiência, da qualidade e como consequência, vantagem competitiva. No entanto, não são muitas as PMEs cientes das oportunidades ou com expectativas de benefícios com o processo de digitalização, reforçando assim desafio de conscientização (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; MASOOD; SONNTAG, 2020; MULLER; VOIGT, 2018).

Independentemente dos desafios que uma PME encontre no processo de transformação, a transformação digital sempre pode oferecer oportunidades de crescimento e competitividade (MATT; RAUCH, 2020).

Para Kamble *et al.* (2020) a adoção da I4.0, na manufatura em PMEs apontam a redução de custo, o aumento da qualidade, da flexibilidade, a redução do tempo de produção, a integração dos sistemas com avaliação de resultados em tempo real e sustentabilidade econômica, social e ecológica. Para os autores todos esses benefícios aumentam a competitividade das PMEs.

Com relação a esses benefícios para as PMEs com a adoção de tecnologias da I4.0 os autores Horváth e Szabó (2019) chamaram de forças motoras, que podem impulsionar a adoção, os autores apontam a melhora na competitividade, aumento na capacidade produtiva e da qualidade, economia de recursos e oportunidade de inovação do seu modelo de negócios, como sendo esses benefícios.

Bär, Herbert-Hansen e Khalid (2018) identificaram alguns benefícios da I4.0 na cadeia de suprimentos em PMEs, como integração com compartilhamento de informação das partes interessadas; a personalização do produto, planejamento e produção, permitindo pequenos lotes de produção; transparência das informações da rede, permitindo uma melhor tomada de decisões; flexibilidade na produção, com adaptações rápidas às mudanças nas exigências do cliente; eficiência de recursos, tecnologias como IoT e *Big Data* permitem a otimização da produção; dados em tempo real; autonomização, tarefas de rotina são assumidas por máquinas e os funcionários se concentram em tarefas que agregam valor; decisões orientadas pelos dados do cliente; a organização se torna ágil com a combinação do aprendizado das máquinas e a inteligência artificial, possibilitando atividades sem interação humana.

De todos os benefícios listados, Bär, Herbert-Hansen e Khalid (2018) destacam que o aumento da satisfação do cliente é o resultado principal de todos os benefícios.

Stentoft *et al.* (2020) chamaram os benefícios da I4.0 como condutores ou motivadores para a implantação de tecnologias para a I4.0 nas PMEs, e apontaram o aumento da satisfação ou a exigência de clientes com um destaque. Os autores apontaram outros, como: vantagem sobre a concorrência, redução de custos e melhoria de processo produtivo, com a redução de tempo de produção. Türkes *et al.* (2019) encontraram um impacto positivo de condutores semelhantes na utilização de tecnologias da I4.0 e prontidão de PMEs manufatureiras.

A aplicação de tecnologias da I4.0 em PMEs manufatureiras podem auxiliar no alcance de operações produtivas sustentáveis, com redução de custo e aumento a eficiência (KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; SEVINÇ; GÜR; EREN, 2018). O estudo de Moeuf *et al.* (2020) demonstrou que I4.0 oferece uma oportunidade única

para as PMEs redesenharem seus processos de produtivos e adotarem novos modelos de negócios.

Moeuf *et al.* (2020) apontaram que os benefícios da adoção de tecnologias da I4.0 em PMEs estão nas melhorias operacionais na empresa, que aumentam o desempenho na fabricação, reduzem o custo e aumentam valor agregado. Uma segunda visão dos autores que eles consideram como oportunidades com a I4.0 é avançar em direção a uma modificação dos modelos de negócios, a I4.0 é apontada pelos autores como um vetor de inovação e modificação da oferta comercial das empresas.

O trabalho de Mueller *et al.* (2018) identificou que para PMEs manufatureiras, a busca pela I4.0 pode trazer oportunidades como a possibilidade de inovação do modelo de negócios, orientando este para os clientes e não somente a produtos, com ofertas de valor personalizados ou modelos “pague e use”.

Os resultados da pesquisa de Haseeb *et al.* (2019) apontaram que a I4.0 é uma oportunidade de crescimento e melhora do desempenho empresarial sustentável entre as PMEs, especialmente as tecnologias como IoT, Computação em Nuvem e Análise de Grandes Dados.

No trabalho de Muller e Voigt (2018) os novos modelos empresariais são benefícios esperados, dentro de uma dimensão econômica, embora as PMEs entrevistadas pelos autores esperem mais benefícios operacionais, como melhoria na produtividade, na dimensão econômica são esperados redução de custos e um aumento da competitividade.

Para Horváth e Szabó (2019) as tecnologias digitais, podem oferecer mais que benefícios operacionais, elas podem melhorar a tomada de decisão dos gestores das PMEs e podem otimizar a medição avaliação de desempenho da organização que pode ser realizada em tempo real.

A I4.0 é um motor para melhoria da competitividade nas PMEs e não é uma questão de se transformar digitalmente ou não, mas sim como fazer o mais rápido possível, para assim manter ou alcançar uma vantagem competitiva no mercado (MATT; RAUCH, 2020; MOEUF *et al.*, 2020).

Uma síntese dos benefícios que as PMEs podem obter com a I4.0 ou com sua transformação digital encontrados na literatura é apresentada no quadro 1.

Quadro 1 - Síntese dos benefícios que as PMEs podem obter com a I4.0

Vantagem competitiva	Masood e Sonntag (2020); Moeuf <i>et al.</i> (2020); Matt e Rauch (2020); Kamble <i>et al.</i> (2020); Stentoft <i>et al.</i> (2020); Stentoft <i>et al.</i> (2021).
Flexibilidade	Masood e Sonntag (2020); Kamble <i>et al.</i> (2020)
Redução de custo	Masood e Sonntag (2020); Kamble <i>et al.</i> (2020), Stentoft <i>et al.</i> (2020) Türkes <i>et al.</i> , (2019).
Aumento da eficiência e da qualidade	Masood e Sonntag (2020); Kamble <i>et al.</i> (2020) Stentoft <i>et al.</i> (2020); Moeuf <i>et al.</i> (2018).
Oportunidades de crescimento e competitividade sustentável	Matt e Rauch (2020); Kumar, Rajesh e Singh (2020); Kamble <i>et al.</i> (2020).
Aumento da satisfação do cliente	Bar <i>et al.</i> (2018); Stentoft <i>et al.</i> (2021).
Inovação do modelo de negócios	Moeuf <i>et al.</i> (2020); Mueller <i>et al.</i> (2018).

Fonte: Autoria própria (2021)

É possível encontrar na literatura significativos benefícios que as PMEs podem obter com a transformação digital, porém muitas dessas empresas não creem nestes benefícios, ainda é preciso convencer essas empresas de que elas podem obter benefícios com a transformação digital (GARZONI; TURI, 2019).

2.4 Características e limitações na digitalização das PMEs

Adotar as tecnologias da I4.0 é uma mudança radical para qualquer empresa, e essa mudança vem acompanhada de muitos desafios, no entanto os desafios com relação adoção das tecnologias da I4.0 em PMEs são diferentes de empresas maiores devido a essas empresas apresentarem características específicas (MASOOD; SONNTAG, 2020; MITTAL *et al.*, 2018).

Com relação aos desafios em torno da adoção da I4.0 nas PMEs, a literatura apresenta temas mais claros e com mais estudo como: limitação de recursos financeiros, limitação de conhecimento, limitação da consciência tecnológica (AGOSTINI; NOSELLA, 2020; BIRKEL *et al.*, 2019; GHOBAKHLOO; CHING, 2021; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; KUMAR, RAJESH; SINGH, 2020; MASOOD; SONNTAG, 2020; MITTAL *et al.*, 2018; MOEUF *et al.*, 2018; 2020;

MULLER; VOIGT, 2018; STENTOFT *et al.*, 2020; 2021; SEVINÇ; GÜR; EREN, 2018), abundância de tecnologias, dificuldade avaliar as melhores soluções, dificuldade no processamento de dados (MASOOD; SONNTAG, 2020; STENTOFT *et al.*, 2020; 2021) e alguns menos explorados como aqueles relacionados ao ambiente em que a empresa está inserida ou do contexto organizacional específico de PMEs (GHOBAKHLOO; CHING, 2019) e o medo que as PMEs podem apresentar com relação a mudança (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020).

As limitações ou dificuldades que as PMEs enfrentam com relação I4.0 estão relacionadas a características que essas empresas possuem que influenciam no processo de transformação digital, como: recursos financeiros, padronização e pesquisa e desenvolvimento baixos; a flexibilidade da liderança é baixa, pois a estratégia geralmente é ditada pelo proprietário; sua estrutura organizacional é informal e menos complexa, embora possam apresentar especialidade no produto que fabricam e essas empresas possuem fortes relações com clientes e fornecedores (MITTAL *et al.*, 2018).

As principais características que as PMEs podem apresentar que influenciam no processo de transformação digital e as limitações ou dificuldades que essas empresas enfrentam com a relação a I4.0 são discutidas a seguir.

2.4.1 Características e limitações com relação a pessoas

Para Stentoft *et al.* (2020) dos desafios que as PMEs enfrentam para a transformação digital o grupo de desafios relacionadas a recursos humanos possui grande influência no sucesso da transformação, são eles: falta mão de obra qualificada, falta treinamento sobre a I4.0, falta de prontidão dos empregados, falta de compreensão da interação entre a tecnologia e o ser humano.

A I4.0 utiliza novas tecnologias que exigem muitas habilidades, especialmente técnica, que as PMEs não possuem, ou seja, as PMEs não estão preparadas com competências em funções técnicas de seus funcionários (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; MOEUF *et al.*, 2020).

Para Birkel *et al.* (2019) existe uma demanda por profissionais qualificados para a I4.0 em todo o mercado e para uma PME atrair e manter um profissional qualificado é especialmente mais difícil, pois são necessários criar incentivos

adequados para que eles permaneçam em uma empresa com sua competência e expertise. As PMEs em particular, enfrentam esse desafio porque não podem fornecer os mesmos incentivos monetários ou não monetários que grandes empresas disponibilizam (BIRKEL *et al.*, 2019).

Muller e Voigt (2018) esperam com a I4.0 uma maior escassez de pessoal com competência técnica, já que para a transformação digital serão necessários mais empregos orientados para as tecnologias nas grandes empresas, gerando uma mais escassez maior nas PMEs.

Para Birkel *et al.* (2019) recrutar pessoas com novas habilidades também pode aumentar as competências técnicas das PMEs, no entanto elas precisam lutar mais para atrair esses talentos, já que projetos de incentivo são frequentemente ausentes nas PMEs, e essas empresas muitas vezes não têm capacidade para enviar funcionários para cursos de formação por um longo período de tempo, por não ter formação neste sentido essas empresas tornam-se menos atraentes.

É um desafio para as PMEs a falta de mão de obra com competência técnica para em tecnologias I4.0, para enfrentar esse desafio o treinamento de funcionários que já trabalham pode ser uma solução (BIRKEL *et al.*, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF *et al.*, 2018; 2020). Para Birkel *et al.* (2019) o treinamento regular dos funcionários favorece a implementação da I4.0 e esses treinamentos podem ser no local de trabalho ou podem acontecer externamente.

A competência técnica do trabalhador é essencial pois esta apoia a exploração das tecnologias, além deste, para as PMEs uma competência essencial do trabalhador a ser desenvolvida é com relação ao compartilhamento de informações e conhecimento, já que PMEs tem dificuldades com o compartilhamento de informações (LI *et al.*, 2019; MOEUF *et al.*, 2020).

Para Horváth e Szabó (2019) as PMEs possuem uma maior escassez de mão de obra, pois elas dependem fortemente dos recursos humanos locais. Esse desafio da escassez relacionado aos recursos humanos é especialmente importante para PMES e exige um esforço maior dessas empresas.

Uma das possibilidades de preencher esta lacuna da falta de mão de obra qualificada, é o acompanhamento da PME por especialistas externos para uma avaliação do estado atual da PME com relação a I4.0 (MOEUF *et al.*, 2018; 2020). Uma vez realizada esta avaliação, a PME precisaria ser apoiada em sua escolha

de tecnologias a implementa, esse apoio pode ser encontrado com equipes acadêmicas ou pesquisadores universitários, em virtude de que consultores necessitam de um alto investimento e a transmissão de conhecimento para a PMEs pode ficar comprometida no projeto (MOEUF *et al.*, 2018; 2020).

Um último desafio apontado pela literatura a ser superado no âmbito do desenvolvimento da capacidade de recursos humanos é a resistência à mudança das pessoas. Elas temem serem substituídos, temem serem vigiados no trabalho ou tem medo da transparência que a transformação pode oferecer (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF *et al.*, 2018; 2020;). Pois com o desenvolvimento de soluções para maior controle do gestor, a rastreabilidade será melhorada e será possível acompanhar o desempenho dos funcionários em tempo real (HORVÁTH; SZABÓ, 2019).

Para Birkel *et al.* (2019) os funcionários temem as novas demandas no trabalho, segundo os autores essas novas demandas podem levar a uma perda da interação social, à medida que as tarefas são cada vez mais atribuídas a computadores e podem levar os funcionários, especialmente das PMEs, a sobrecarga e tensão, pois estes podem ter dificuldades para passar mais tempo na frente do computador e menos tempo interagindo com outros humanos, pois a estrutura organizacional uma PMEs é composta de forte interação social e é vista como um ativo fundamental que pode ser perdido. O apoio social será ainda mais importante para os funcionários com relação ao cuidado da segurança social e pessoal (HORVÁTH; SZABÓ, 2019).

Para Horváth e Szabó (2019) são os medos dos funcionários que podem agravar o desafio da resistência organizacional, para os autores, como em qualquer mudança a resistência organizacional é esperada, mas os medos podem tornar essa resistência maior.

A literatura aponta que a lacuna que existe entre I4.0 e PMEs é reforçada pelos desafios a serem superados em recursos humanos, mas os desafios que se destacam ainda são os desafios organizacionais (GHOBAKHLOO; CHING, 2021; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; KUMAR, RAJESH; SINGH, 2020; MASOOD; SONNTAG, 2020).

2.4.2 Características e limitações com relação a organização

Para Agostini e Nosella (2019) as PMEs são empurradas para a realização de investimentos em novas tecnologias sem estarem preparadas no seu contexto organizacional. O papel do contexto organizacional ou a capacidade organizacional da PME para a transformação digital, continua a ser ignorado por pesquisadores, isso se deve ao fato do caráter mais tecnológico da I4.0 (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; AGOSTINI; NOSELLA, 2019).

Para uma transformação digital com sucesso uma PME precisa possuir ou desenvolver capacidade organizacional e dentro deste contexto muitos pontos precisam ser desenvolvidos (BIRKEL *et al.*, 2019). O primeiro ponto a ser desenvolvido na capacidade organizacional diz respeito as características do gestor e sua consciência com relação a transformação digital, que são apontadas por Birkel *et al.* (2019) e Mittal *et al.* (2018) como sendo de grande importância, pois a estratégia e as tomadas de decisão em um PME são realizadas pelo proprietário ou gestor designado, que é uma característica dessas empresas. As PMEs têm uma organização muito verticalizada, com linha hierárquica curta e com concentração de poder nas mãos do gestor (BIRKEL *et al.*, 2019; MITTAL *et al.*, 2018; MOEUF *et al.*, 2020; ZAMBOM *et al.*, 2019).

As dificuldades geradas pela falta de flexibilidade e resistência do gestor podem prejudicar a preparação da PMEs para a I4.0 (HORVÁTH; SZABÓ, 2019). Os proprietários especialmente os de mais idade são apontados por Birkel *et al.* (2019) como relutantes ou resistentes à mudanças ou inovação, para os autores, a maioria das PMEs possuem estruturas organizacionais tradicionais que muitas vezes tem uma atitude negativa em relação a mudanças. Então, a resistência à mudança é a primeira questão a ser resolvida em uma PME (BIRKEL *et al.*, 2019; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; GARZONI; TURI, 2020).

Para Masood e Sonntag (2020) uma atitude positiva do gestor e a visualização de benefícios com relação a I4.0 por este tem um efeito positivo na preparação de PMEs, assim como um planejamento estratégico que contemple alguma inovação, segundo os autores, essas ações podem indicar que a PME está se preparando para a uma transformação digital. Em uma PME o líder está profundamente envolvido no dia a dia da empresa, então a atitude positiva do líder

em relação a I4.0 é fundamental para que a empresa adote este conceito (MOEUF *et al.* 2018; 2020).

Para Moeuf *et al.* (2020) as características de liderança do gestor de uma PME e a proximidade que ele possui com seus colaboradores, podem influenciar positivamente os planos de implantação da I4.0. Se esse gestor apresentar uma atitude positiva, pode motivar o grupo e limitar os fenômenos de resistência à mudança. Essa característica de proximidade do gestor com os colaboradores, que as PMEs possuem, promovem uma comunicação frequente com os colaboradores, favorecendo motivação e a agilidade, necessários para implantação da I4.0 (MOEUF *et al.* 2018; 2020).

Outro ponto a ser desenvolvido na capacidade organizacional de uma PME para transformação digital, diz respeito ao conhecimento do gestor, este precisa ter conhecimento e compreensão na abordagem da inovação, desenvolvendo uma cultura de inovação e oferecendo suporte a toda organização (MOEUF *et al.*, 2018; ZAMBOM *et al.*, 2019). A falta de compreensão e consciência da importância da I4.0 pelos gestores é um desafio para as PMEs (STENTOFT *et al.*, 2020).

Kumar, Rajesh e Singh (2020) também identificaram que a falta conscientização sobre as contribuições da utilização das tecnologias da I4.0 é uma dificuldade em PMEs 4.0. Para Horváth e Szabó (2019) além dessas empresas não possuem conscientização, elas têm baixa expectativa de rentabilidade com relação a transformação digital, em virtude de muitas vezes realizarem projetos com menor retorno, para atender necessidades pontuais e particulares ou para solucionar os problemas emergentes dentro seus próprios limites de conhecimento e recursos da organização, o que contribui para uma baixa expectativa e conscientização.

Para Zabom *et al.* (2019) é indispensável que os gestores das PMEs compreendam como abordar a inovação e quais as vantagens que podem ser obtidas, pois a aceitação e o uso de tecnologias por gestores de PMEs dependem da identificação de fatores como, usabilidade e melhores práticas, por isso é necessária uma abordagem centrada no gestor.

Para Massod e Sonntag (2020) e Kumar *et al.* (2020) existe ainda uma falta de consciência sobre as contribuições da I4.0 por parte de toda a organização,

assim muitos gestores não tem apoio do restante da organização na implementação das tecnologias I4.0 para PMEs.

Além da falta de consciência do gestor com relação aos benefícios, existe também a falta de entendimento com relação aos novos modelos de negócios que a I4.0 pode oferecer (BIRKEL *et al.*,2019; HORVÁTH; SZABÓ, 2019). Isso pode estar acontecendo, segundo Birkel *et al.* (2019), porque muitos modelos de negócios atuais de PMEs não são compatíveis com os novos modelos de negócios, um exemplo que os autores citam é que em muitas PMEs não há registro de grande quantidade de dados, sendo assim, não é possível obter valor de dados. Para Horváth e Szabó (2019) as oportunidades com novos modelos de negócios não são consideradas pelos gestores devidos a estes estarem menos conscientes ou não estarem monitorando as oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias digitais.

O gestor deve ser capaz de identificar as oportunidades oferecidas pela I4.0 e se comprometer com a transformação digital, assim todos os membros da organização seguirão a liderança do gestor da PME e a resistência experimentada pelo restante da organização pode ser diminuída (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; BIRKEL *et al.*, 2019).

O conhecimento sobre a I4.0 tem sido abordado como influenciador da conscientização digital do gestor e da aceitação das tecnologias em PMEs (GARZONI; TURI, 2020; TURKES *et al.*,2019). Segundo Garzoni e Turi (2020) as PMEs precisam ser convencidas dos benefícios decorrentes da adoção das tecnologias da I4.0 e o gestor precisa estar totalmente envolvido nessa transformação digital e precisa ter conhecimento relacionado aos benefícios, necessidades e desafios tecnológicos que a I4.0 oferece.

Para Moeuf *et al.* (2020) os gestores das PMEs são elementos chaves dentro da organização, pois tem o poder de decisão, ele pode apoiar o projeto da I4.0, bem como retardar a sua execução e é impossível conduzir um projeto de I4.0 sem o envolvimento do gestor.

É preciso transformar o gestor da PME em um líder de projeto para a transformação digital, com conhecimento multidisciplinar, aberto a mudanças, com curiosidade, e uma boa compreensão das competências e necessidades da

organização a fim de fazer uma ligação entre as soluções tecnológicas e as necessidades da PME (AGOSTINI; NOSELLA, 2020; MOEUF *et al.* 2020)

De acordo com Agostini e Nosella (2020) nem sempre as PMEs têm esse líder com as características necessárias para implementar a I4.0, o que exige alguém externo. No entanto os autores ressaltam que mesmo com uma participação externa, existe a necessidade de ter alguém dentro da empresa que seja capaz de buscar, entender e interiorizar o conhecimento externo e explorá-lo com sucesso no propósito da transformação digital da PME. O gestor interno é o que está mais próximo dos colaboradores, podendo apoiar e incentivar os empregados a explorar conhecimentos externos na adoção das tecnologias I4.0 (AGOSTINI; NOSELLA, 2020).

É possível visualizar o papel de destaque que os gestores ou a administração tem em relação ao sucesso ou fracasso de um projeto de I4.0 em uma PME, em virtude disso existe a necessidade de que esses gestores obtenham apoio externo e conhecimento, que podem vir de especialistas externos ou consultoria (AGOSTINI; NOSELLA, 2020; MOEUF *et al.* 2018; 2020). A falta de um suporte externo especializado em inovação é um desafio em uma PME que resulta na falta de conhecimento sobre as tecnologias da I4.0 e na falta de capacidade de explorar essas tecnologias (AGOSTINI; NOSELLA, 2020; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF *et al.* 2018; 2020).

Para Kumar, Rajesh e Singh (2020) a falta de suporte especializado em I4.0 para a gerência é um desafio a ser superado pelas PMEs, segundo os autores, existe também uma necessidade de treinamento voltado para atender os gerentes de PMEs, e essa falta de treinamento dos gestores também é desafio a ser superado na preparação para a I4.0 em PMEs (AGOSTINI; NOSELLA, 2020; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF *et al.* 2018; 2020).

No contexto da I4.0 as PMEs têm uma abundância de tecnologias para usar, mas não tem conhecimento sobre elas e não tem especialistas para sua capacitação (AGOSTINI; NOSELLA, 2020). É preciso preparar toda a organização para a transformação digital, quanto mais preparadas os indivíduos da organização estiverem com relação a suas habilidades, maiores as chances de uma PME adotar tecnologias I4.0, nesta preparação o conhecimento externo é um

importante aliado pode levar a uma maior intensidade de implementação (AGOSTINI; NOSELLA, 2020; MOEUF *et al.* 2018; 2020).

Para além das tecnologias o contexto organizacional parece estar na base de I4.0, isto sugere que uma revolução no interior PME deve acontecer, no sentido de que as PMEs que preparam um contexto organizacional interno capaz de cooperar, partilhar ideias e diferentes contextos, na tentativa de buscar soluções para problemas complexos podem atingir níveis maiores de transformação. (AGOSTINI; NOSELLA, 2019; SEVINÇ; GÜR; EREN, 2018).

Ao identificar os fatores determinantes a adoção de tecnologias de PMEs, Ghobakhloo e Ching (2019) apresentam resultados que sugerem que o valor percebido de uma tecnologia, ou seja, a expectativa positiva, é um determinante significativo da adoção de tecnologias, pois quando os gestores acreditam que as tecnologias lhes proporcionam melhoria organizacional e produtividade estão mais propensos a implantação. Para Sevinç, Gür e Eren (2018) a adoção de tecnologias por PMEs depende da vantagem relativa ou benefícios que a PME vai obter, quanto mais a vantagem com o uso de uma tecnologia, maior será a probabilidade de adoção.

As descobertas da pesquisa de Ghobakhloo e Ching (2019) também sugerem que a competência em conhecimento das tecnologias da I4.0 é outra competência organizacional determinante da adoção entre as PMEs, Em geral, uma maior competência de conhecimento sobre a I4.0 pode facilitar e acelerar a adoção, oferecer uma contribuição mais efetiva dos usuários no processo de implantação, e reduzir a ansiedade e o medo da adoção.

Para Li *et al.* (2019) a cultura não pode ser negligenciada no processo de transformação, especialmente em uma PME, em que a cultura se manifesta em termos de atitudes do gestor, segundo os autores, por vez é mais fácil se concentrar apenas em aspectos tecnológicos ao invés de culturais. A cultura denota valores organizacionais refletindo no comportamento humano, então a cultura organizacional reflete em como a PME se comporta ou se organiza no ambiente em que está inserida, modificar essa cultura pode ser um desafio para a transformação digital (LI *et al.*, 2019).

Embora já iniciado os estudos dos aspectos organizacionais e de gestão da I4.0 ainda é superficial, especialmente em PMEs, no entanto essas empresas

tem carência nesta questão para a implementação de projetos da I4.0, a negligência da estrutura organizacional e a cultura da empresa é um desafio a ser superado pelas PMEs (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; LI *et al.*, 2019).

O trabalho de Masood e Sonntag (2020) mostrou que o tamanho e a atitude da empresa afetam significativamente a adoção de tecnologias. O tamanho da organização está relacionado com o aumento dos níveis de aceitação das inovações na empresa, em organizações maiores as inovações podem ser experimentadas e essas organizações estão mais atentas e preparadas para às novas tecnologias (SEVINÇ *et al.*, 2018; MASOOD; SONNTAG, 2020). O número de empregados, o volume de produção e de receitas, assim como a complexidade no processo produtivo, são indicativos de quanto maiores, maior a necessidade de transformação, assim como maior a aceitação de tecnologias (MASOOD; SONNTAG, 2020).

A introdução de novas tecnologias digitais nas organizações requer normas e padronização, o que é um desafio a ser superado pelas PMEs, pois essas empresas tem como característica uma baixa padronização e uma baixa formalização de processos (AGOSTINI; NOSELLA; 2020; MITTAL *et al.*, 2018; HORVÁTH; SZABÓ; 2019). A falta de padronização e falta de normas influenciam negativamente na transformação para a I4.0, influenciando negativamente na prontidão das PMEs para a transformação digital (AGOSTINI; NOSELLA; 2020; STENTOFT *et al.*; 2020).

2.4.3 Características e limitações com relação a tecnologia

A tecnologia é apresentada na literatura como um dos pilares para a transformação digital, em virtude disso é preciso que as PMEs tenham capacidade tecnológica para enfrentar os desafios deste pilar para a transformação digital (GHOBAKHLOO; CHING, 2019; MASOOD; SONNTAG, 2020).

Nas opiniões e percepções de gestores de PMEs, apresentadas no trabalho de Turkes *et al.* (2019), existe um desejo das PMEs implantarem as tecnologias da I4.0, no entanto existem desafios significativos na transformação digital de PMEs relacionados a essas tecnologias, como: complexidade de implantação e utilização das tecnologias da I4.0 (MASOOD; SONNTAG, 2020; SEVINÇ; GÜR; EREN, 2018; TURKES *et al.*, 2021) a falta de apoio especializado

na utilização de novas tecnologias (KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020) falta de soluções específicas para PMEs ou profissionais especialistas em tecnologias da I4.0 (INGALD; ULEWICZ, 2020; TURKES *et al.*, 2019).

As PMEs são aconselhadas por Ghobakhloo e Ching (2019) a decidir cautelosamente sobre a adoção de novas tecnologias, em particular as complexas que exigem grandes mudanças em toda a organização. Essa orientação se deve ao fato de empresas menores não possuírem capacidade digital ou tecnológica, não estando prontas para transformações disruptivas (GHOBAKHLOO; CHING, 2019; LI *et al.*, 2019, MASOOD; SONNTAG, 2020).

Para Sevinç *et al.* (2018) a complexidade de adoção ou grau de dificuldade em entender como usar essas tecnologias funcionam, também influencia na transformação digital, assim como a experiência e compatibilidade dessa tecnologia com estrutura já existente na PME, ou seja, a dificuldade de adaptar essa tecnologia ao negócio já existente, processos ou atividades comerciais, gera a necessidade de especialistas em tecnologias ou especialização do gestor (MOEUF *et al.*, 2018; 2020).

Para Moeuf *et al.* (2018) é expressiva a dificuldade que as PMEs têm em gerir soluções tecnológicas inovadoras complexas, por isso a necessidade de ferramentas simplificadas para PMEs. As empresas mais pequenas não possuem soluções ou alternativas mais baratas específicas para elas, seus recursos financeiros e tecnológicos são limitados o que gera essa necessidade (MOEUF *et al.*, 2018; 2020; NEIROTTI; RAGUSEO; PAOLUCCI, 2018).

Uma característica que PMEs podem apresentar, segundo Birkel *et al.* (2019), que afeta a capacidade em tecnologia dessas empresas, é que essas empresas não possuem coleta, registro ou armazenamento de grande quantidade de dados, sendo assim não é possível obter valor de dados.

Para Moeuf *et al.* (2020) o primeiro passo para uma transformação digital de PMEs é investir em uma tecnologia que gera dados. Uma tecnologia forte nesse aspecto é *Cloud Computing*, devido à sua facilidade, simplicidade e acessibilidade de uso pelas PMEs (BIRKEL *et al.*, 2019; MOEUF *et al.*, 2020). Para Ghobakhloo e Ching (2019) as PMEs com maior processamento de dados estão mais propensas a transformação digital, especialmente as PMEs que já implementaram a registro e armazenamento de dados em nuvem.

A falta de capacidade de armazenar e explorar dados é um desafio para as PMEs, para Moeuf *et al.* (2020) as PMEs e seus gestores não exploram suficientemente os dados que possuem e não veem seus dados como uma fonte de valor. Muitos dados são apenas coletados, para os autores, tecnologias como computação em nuvem e internet das coisas, podem ser utilizadas na exploração desses dados, pois estas tecnologias trazem bons resultados por um custo relativamente menor que as demais tecnologias, assim como *cyber security*, são tecnologias que são facilmente acessíveis às PMEs (MOEUF *et al.* 2020).

A infraestrutura de TI é também um elemento chave para a exploração de dados em PMEs (MOEUF *et al.* 2020). No entanto a infraestrutura de TI pode ser um desafio para PMEs, é o que apontam Kumar, Rajesh e Singh (2020), que dizem que, o que falta em PMEs para a utilização das tecnologias da I4.0 é a infraestrutura baseada em *Software* e *Hardware*, elementos como: instalações, data centers, servidores, computadores, redes de armazenamento, segurança entre outros.

O apontamento de Birkel *et al.* (2019) é que uma infraestrutura digital inadequada representa um grande desafio para a transformação digital. As PMEs são desproporcionalmente afetadas por estes riscos, suas sedes geralmente estão localizadas fora dos grandes centros, onde a infraestrutura é subdesenvolvida, um exemplo é a rede móvel 5G.

A transformação digital abre as portas para ataques do mundo virtual, no entanto, nuvens configuradas com segurança são um método de armazenamento de dados de forma segura e remota (BIRKEL *et al.*, 2019). No entanto segundo Moeuf *et al.* (2020) as PMEs tendem a subestimar o risco da segurança cibernética, segundo os autores é preciso ter cuidado ao escolher uma solução de *Cloud Computing* de baixo custo, pois os níveis de segurança podem ser pobres com um serviço de má qualidade.

Falta de segurança com os dados (cibersegurança) é um desafio a ser superado por PMEs, os sistemas inseguros de armazenamento de dados, assim como a capacidade de armazenamento desses sistemas ou a falta de capacidade de explorar os dados para melhorar os processos (BIRKEL *et al* 2019; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; STENTOFT *et al.*,2020).

Um aspecto apresentado pela I4.0 é o aumento da transparência dos dados, que muitas vezes ficam visíveis para outros participantes da cadeia de valor

e essas empresas temem perder o poder de barganha com os demais participantes da cadeia (BIRKEL *et al.*, 2019; MULLER; VOIGT, 2018).

O trabalho de Birkel *et al.* (2019) com gestores de PMEs, mostrou que estes desejam manter seus dados e segredos comerciais para si mesmas a todo custo, pois tem seu poder de barganha com empresas maiores nestas informações. No entanto os autores enfatizam que o registro, armazenamento e compartilhamento de dados é um conceito da I4.0. Para os autores a competência em dados deve ser construída em PMEs, garantindo que os dados gerados sejam colocados em um propósito significativo e interpretados de maneira correta (BIRKEL *et al.*, 2019).

A questão compartilhamento dos dados é uma questão delicada para PMEs, segundo Muller e Voigt (2018) as PMEs tem medo de compartilhar seus dados por necessidade preservar os seus conhecimentos e segredos comerciais. Apesar das preocupações com a propriedade de dados, a segurança dos dados é avaliada de forma mais baixa com a relação à sua importância por gestores de PMEs (MULLER; VOIGT, 2018; BIRKEL *et al.*, 2019).

A compatibilidade com os sistemas já existentes nas PMEs é outro desafio a ser superado, relacionado as tecnologias, para melhorar a capacidade tecnológica das PMEs, segundo Birkel *et al.* (2019) é um problema para as PMEs, reconfigurar as instalações de produção devido a maquinário antigo e desatualizado e é um desafio modernizar os sistemas existentes devido ao pouco recurso que possuem.

A compatibilidade é especialmente determinante em PMEs na adoção de tecnologias como: robôs autônomos e controladores de máquinas e processos, por isso as PMEs devem iniciar com a adoção de ferramentas mais simples, (GHOBAKHLOO; CHING, 2019; MOEUF *et al.*, 2018)

Com relação a percepção de compatibilidade, Ghobakhloo e Ching (2019) apontam como um fator de forte influência na adoção de tecnologias para as PMEs, os autores enfatizam que é importante uma percepção da compatibilidade da tecnologia implantada, no contexto das PME, principalmente quando requer alterações organizacionais e tecnológicas significativas.

A percepção de compatibilidade segundo Birkel *et al.* (2019) pode ser prejudicada nas PMEs, com a interpretação de que o sucesso, no passado, foi sempre alcançado com maquinário básico, soluções flexíveis e um baixo grau de

automação, segundo os autores essa abordagem não pode ser adotada na preparação para a I4.0.

Em particular, as PMEs devem ter acesso a soluções escaláveis, fáceis de implementar, que se ajustem as suas características e que sejam compatíveis com a abordagem geral da I4.0 (BIRKEL *et al.*, 2019).

2.4.4 Características e limitações com relação a estratégia

Para Horváth e Szabó (2019) além das mudanças tecnológicas a mudanças organizacionais das PMEs também são significativas com a transformação digital, especialmente na estratégia da PME. A definição de objetivos e criação da estratégia exigirá mais etapas e muito mais visão de futuro e abordagem ágil dentro da PME, assim como uma revisão frequente dos objetivos, para assegurar um projeto adequado. A construção da estratégia exigirá avaliação contínua da estrutura, dos processos e dos resultados, juntamente com uma abordagem voltada para a solução de problemas que olhem para tal com uma visão sistêmica (HORVÁTH; SZABÓ, 2019).

Para Ghobakhloo e Ching (2019) a forma como as PMEs realizam a transformação necessária para a adoção de tecnologias da I4.0 irá determinar se ela morre, sobrevive ou prospera na I4.0, os gestores dessas empresas devem apoiar a transformação digital com a construção de uma estratégia de implantação da I4.0. (GHOBAKHLOO; CHING, 2019). Em geral para as PMEs que enfrentam mais obstáculos em relação às grandes empresas não possuem um plano estratégico de implantação (AGOSTINI; NOSELLA, 2020).

Para construção de uma estratégia ou plano de transformação digital, segundo Sevinç, Gür e Eren (2018), essas empresas devem primeiro analisar as razões das principais dificuldades experimentadas na transformação digital, em seguida, devem iniciar sua transformação o mais rápido possível com uma estratégia e um roteiro bem estruturado que contemple o enfrentamento dessas dificuldades, assim a estratégia irá integrar os principais fatores que podem prejudicar essa transformação, de modo que as intenções de transformação sejam voltadas sempre para longo prazo (SEVINÇ; GÜR; EREN, 2018).

A estratégia a médio e longo prazo é uma capacidade que uma PME precisa desenvolver com relação a suas características organizacionais, segundo Moeuf *et al.* (2020) a capacidade transformação digital é diretamente influenciada por uma característica comum que PMEs podem apresentar que é possuir somente estratégias de curto prazo, essas que muitas vezes são baseadas nos instintos de um gerente ou proprietário, esse tipo de estratégia é um risco para a implementação da I4.0, já que mudanças frequentes nas prioridades dentro das PMEs impedem ou prejudicam os projetos da I4.0, em relação a implantação da I4.0.

Para Moeuf *et al.* (2020) a estratégia a curto prazo das PMEs é um risco para a transformação digital de PMEs, em virtude disso, segundo os autores é importante incluir o projeto I4.0 como parte de uma estratégia a longo prazo de transformação. Os projetos de transformação digital exigem estratégias de longo prazo com metas e objetivos claros de longo prazo que devem estar integrados dentro da visão estratégica para a empresa. A estratégia e o planejamento a longo prazo sobre a adoção das tecnologias I4.0, com um roteiro de implantação bem definido são desafios em PMEs (GHOBAKHLOO; CHING, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF *et al.*, 2018; 2020).

Para Turkes *et al.* (2019) é preciso que os gestores compreendam a estratégia e sua importância para o processo de transformação digital, assim como a importância da I4.0. A construção da estratégia para a transformação digital deve vir acompanhada de um roteiro estratégico abrangente que contemple cada passo que as PMEs precisam dar, assim como o cronograma e a descrição dos custos e benefícios associados à adoção das tecnologias, abordando também ferramentas estratégicas tais como modelos de maturidade e avaliação de prontidão (GHOBAKHLOO; CHING, 2019).

O *roadmapping* estratégico é considerado por Ghobakhloo e Ching (2019) como uma ferramenta importante pois facilita a implementação, este deve possuir descrição clara do objetivo a ser alcançado e descrição de metas organizacionais, isso leva a uma seleção de soluções mais adequadas que apoiem a transformação digital. Para Horvat e Szabo (2019) a implantação de tecnologias da I4.0 exigem da gestão maior controle no desempenho da implantação e avaliação com métricas do processo de transformação, ou seja, é necessário um acompanhamento contínuo do desempenho da estratégia.

O estudo Neirotti, Raguseo e Paolucci (2018) mostrou que o tamanho de uma PME e as suas condições ambientais influenciam diretamente no desenvolvimento das capacidades para o uso de novas tecnologias, ou seja, o tamanho da empresa é um moderador do processo de transformação, segundo os autores isso provavelmente ocorre porque empresas menores enfrentam mais desafios no uso de tecnologias, que são específicas para seu tamanho e ambiente, PMEs maiores tendem a desenvolver um nível mais alto dessas capacidades. A transformação digital de PMEs é fortemente influenciada pelo meio em que ela está inserida (GHOBAKHLOO; CHING, 2019; NEIROTTI; RAGUSEO; PAOLUCCI, 2018), ou seja, mesmo não estando prontas adequadamente para abraçar as tecnologias da I4.0, muitas vezes elas iniciam uma transformação, forçadas prematuramente por fatores externos, o que pode levar a investimentos mal sucedidos (GHOBAKHLOO; CHING, 2019).

Kumar, Rajesh e Singh (2020) identificaram quinze desafios em PMEs para a utilização das tecnologias da I4.0, entre elas os autores apontam o medo de fracasso das tecnologias I4.0 e medo da incerteza da demanda devido a interrupções do mercado, os autores apontam para a importância dessas empresas superarem esse medo, o medo é um inibidor da transformação digital, em muitos casos ele é fruto da falta de confiança nos benefícios (HORVÁTH; SZABÓ, 2019). A desconfiança de benefícios é uma resposta protecionista e de resistência a mudança (SEVINÇ *et al.* 2018).

Para Matt e Rauch (2020) normalmente as PMEs não são adaptáveis e inovadoras em termos de seus produtos ou processos, no entanto pressões competitivas têm empurrado essas empresas para a introdução dos conceitos da I4.0. Segundo os autores isso tem levado a muitas afirmações na literatura de que a maioria das PMEs ainda não estão preparadas para I4.0 e sim sendo empurradas.

Essa influência externa para transformação digital que as PMEs recebem está intimamente ligada a pressão competitiva ou a influência dos concorrentes (SEVINÇ *et al.*, 2018).

Para Ghobakhloo e Ching (2019) as PMEs que sofrem pressão de seu ambiente para a transformação digital têm maior probabilidade de investir em tecnologias da I4.0, os autores atribuem isso ao fato de que, essa pressão resulta em turbulência do ambiente de negócios o que obriga as empresas as PMEs a

serem inovadoras. No entanto, segundo Neirotti, Raguseo e Paolucci (2018) as PMEs que são influenciadas externamente a transformação digital tendem a ter mais dificuldades de desenvolvimento de suas capacidades para a utilização de tecnologias, especialmente em ambientes com situações de turbulência.

Para Kumar, Singh e Dwivedi (2020) as PMEs são dependentes principalmente de seus parceiros, para avanços econômicos e tecnológicos, estes podem ser clientes, fornecedores, desenvolvedores de soluções, governos, entre outros. Por isso é necessário que as PMES tenham apoio e um relacionamento cooperativo com os parceiros para que a transformação digital aconteça. Quando isso não acontece essas empresas tendem a ter mais dificuldades em se transformar digitalmente (GHOBAKHLOO; CHING, 2019; KUMAR; SINGH; DWIVEDI, 2020; NEIROTTI; RAGUSEO; PAOLUCCI, 2018, VRCHOTA, VOLEK, NOVOTNÁ, 2019).

Para Birkel *et al.* (2019) a cooperação com parceiros pode auxiliar as PMEs na falta de habilidades ou recursos, por exemplo, mas leva a um alto grau de dependência, isso pode influenciar negativamente já que as PMES precisam confiar totalmente em parceiros externos ou depender de soluções de empresas específicas ou até pagar um preço maior por determinadas soluções. Para os autores o medo da dependência leva a soluções isoladas, que por sua vez impedem a transformação da PME.

A falta de colaboração ou cooperação com os parceiros é um desafio para as ser superado pelas PMEs (KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; HORVÁTH, SZABÓ, 2019; MULLER; VOIGT, 2018). Para Birkel *et al.* (2019) uma solução potencial para as PMEs poderia ser redes e alianças, que ajudam as empresas mais pequenas a ultrapassar as restrições de recursos e a melhorar a sua capacidade de transformação.

Em comparação com grandes empresas as parcerias de PMEs com outras instituições e universidades são baixas (MITTAL *et al.*, 2018). Horváth e Szabó (2019) sugerem que as empresas cooperem ativamente com universidades e outras organizações educacionais para desenvolver programas educacionais que abranjam múltiplos campos, incluindo matemática, engenharia, programação e análise e processamento de dados.

A falta de apoio de organizações de pesquisa de desenvolvimento é um desafio a ser superado pelas PMEs, essas empresas especialmente precisam de apoio (BIRKEL *et al.*, 2019; GARZONI; TURI, 2020; VRCHOTA; VOLEK; NOVOTNÁ, 2019). O trabalho de Garzoni e Turi (2020) mostrou a importância do trabalho em rede ou a criação de comunidades de inovação, com a construção de projetos pilotos de transformação digital de PMES e parcerias com universidades. As PMEs precisam dessas ações para a construção de um ecossistema de colaboração para melhorar o seu engajamento em projetos de transformação digital (GARZONI; TURI, 2020).

Para Muller e Voigt (2018) além dos desafios relativos à cooperação, a perda a orientação para o cliente, também gera insegurança para as PMEs, já que a maioria dessas empresas tem um relacionamento direto e íntimo com seus clientes. Para as PMEs, a motivação dos clientes ou parceiros comerciais são muito importantes para a adoção de novas tecnologias. A satisfação do cliente é uma força motriz forte para a mudança em empresas menores (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; KUMAR; SINGH; DWIVEDI, 2020; MULLER; VOIGT, 2018).

Mudanças nas demandas dos clientes ou falta de aceitação de tecnologias pelos clientes é um risco potencialmente especial para as PMEs, pois essas empresas são altamente dependentes de seus clientes para fornecer os recursos financeiros, especialmente os recursos destinados atividades de pesquisa e desenvolvimento (BIRKEL *et al.*, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020).

Para Horváth e Szabó (2019) a satisfação do cliente é uma força motriz para mudanças em empresas menores. Mudanças nas demandas de clientes ou falta de aceitação de tecnologias pelos clientes é um risco potencialmente especial para as PMEs, devido à alta dependência dos clientes para fornecer os recursos financeiros, especialmente os recursos destinados atividades de pesquisa e desenvolvimento, (BIRKEL *et al.*, 2019).

Essas empresas podem se sentir pressionadas pelos clientes devido à proximidade e intimidade que possui com os clientes, se sentem pressionadas temendo não ser mais atraentes para seus clientes, já que muitos clientes podem buscar soluções baseadas em tecnologias e inovação, esse desinteresse por parte dos clientes ocorrer devido a competências antes vistas como essenciais pelos

clientes, já possam estar sendo consideradas obsoletas por eles (BIRKEL *et al.*, 2019; GHOBAKHLOO; CHING, 2019;).

Existe um desejo das PMEs implantarem as tecnologias da I4.0, mas para que isso aconteça elas precisam de capacidade financeira (TURKES *et al.*, 2021). Uma característica comum das PMES é o recurso financeiro limitado para a transformação digital. (BIRKEL *et al.*, 2019; GHOBAKHLOO; CHING, 2021; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; MULLER; VOIGT, 2018; STENTOFT *et al.*, 2020). .

Os desafios para as PMEs relacionados a essa característica se concentram na falta de recursos financeiros para implantação e manutenção de novas tecnologias, no alto custo das tecnologias da I4.0, assim como na falta de recursos para investimento em inovação, esses desafios afetam a transformação digital. (AGOSTINI; NOSELLA, 2020; BIRKEL *et al.*, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MITTAL *et al.*, 2018; MOEUF *et al.*, 2018; 2020; SEVINÇ *et al.*, 2018, 2018).

O estudo Neirrotti, Raguseo e Paolucci (2018) apontou como uma barreira para a transformação digital de PMES, a falta de alternativas de soluções mais baratas específicas para PMEs. As tecnologias da I4.0, consideradas elementos chaves para melhorar o processo de fabricação, tais como sistemas ciberfísicos, comunicação máquina-a-máquina, robôs autônomos, não são consideradas possíveis por gestores de PMEs, os gestores afirmam de que estas tecnologias estão entre as soluções mais caras e as PMEs não têm os meios financeiros para investir (MOEUF *et al.*, 2018; 2020).

O alto custo da transformação digital, está relacionado aos custos de transição, que são os possíveis custos das novas tecnologias ou sistemas que precisam ser integrados com a empresa. Assim como custos de manutenção e suporte técnico, relacionados ao apoio para garantir a continuidade das novas tecnologias integradas às empresas, custos com treinamento necessário e suporte associado a este treinamento (SEVINÇ *et al.*, 2018).

Tecnologias da I4.0 que os gestores percebem ter maior custo, resulta em uma não adoção desta tecnologia, foi o que identificou trabalho de Ghobakhloo e Ching (2021), sendo então, o alto custo das tecnologias apontado como uma barreira para a transformação digital (BIRKEL *et al.*, 2019; GHOBAKHLOO; CHING, 2021; KUMAR; SINGH; DWIVEDI, 2020).

Incertezas com relação ao retorno do montante investido gera desconfiças com relação a transformação digital, isso pode ocorrer também, devido ao fato de que o critério custo das tecnologias é considerado importante para as PMEs, na avaliação da transformação digital (SEVINÇ *et al.* 2018).

Horváth e Szabó (2019) identificaram que a preocupação das empresas com a rentabilidade dos recursos investidos e as incertezas com os resultados pode dificultar significativamente as PMEs de introduzir as tecnologias da I4.0

Neste contexto de incertezas, existe um risco particular para as PME de que esses investimentos possam exceder os recursos disponíveis e o retorno esperado, assim essas empresas podem entrar em crise, visto que para PMEs esses investimentos geralmente significam que uma empresa inteira é “apostada”, e um resultado ruim pode ser potencialmente fatal (BIRKEL *et al.*, 2019).

Para Ghobakhloo e Ching (2019) os custos da implantação das tecnologias é uma barreira à adoção, a pesquisa dos autores mostrou que os custos percebidos pelos gestores têm uma influência significativa na adoção de tecnologias, quanto mais caras e complexas as tecnologias menos as PMES utilizam.

Birkel *et al.* (2019) apontam como um dos riscos para a transformação digital em PMEs a falta de provisão necessária de recursos, influenciando negativamente a implementação de tecnologias de digitalização, em virtude de a implantação dessas tecnologias necessitarem de grandes investimentos em máquinas e sistemas complexos. Esses investimentos, segundos os autores, são cobertos na maioria das vezes pela própria empresa, sem incentivo da gestão pública, e ainda os autores apontam que muitos desses investimentos são considerados altamente incertos pelos gestores de PMEs.

As desconfiças com relação ao investimento afetam a adoção de tecnologias por PMEs (SEVIÇ *et al.*, 2018), outro fator que pode afetar a transformação digital é montante de recursos financeiros que essas empresas por ventura já tenham realizado, investimentos em inovação aumentam a probabilidade de as PMEs fazerem novos investimentos (AGOSTINI; NOSELLA, 2020).

É uma tarefa desafiadora investir em inovação ou novas tecnologias específicas para PMEs, em virtude do risco de falsos investimentos, por exemplo, em tecnologias pobres e muitas vezes imaturas (BIRKEL *et al.*, 2019; HORVÁTH; SZABÓ, 2019).

As tecnologias estão repletas de incertezas, que serão verdadeiramente necessárias e terão sucesso, focar nas tecnologias erradas pode ser uma decisão fatal, especialmente para PMEs com uma pequena base de recursos, não possuem a expertise necessária para essa decisão. (BIRKEL *et al.*, 2019; HORVÁTH; SZABÓ, 2019).

Kumar, Rajesh e Singh (2020) identificaram que a falta de recursos dedicados para pesquisa e desenvolvimento em tecnologias I4.0 nas PMEs é um desafio a ser superado, e apontaram que os investimentos em pesquisa e desenvolvimento são baixos em PMEs. Mittal *et al.* (2018) e Moeuf *et al.* (2018) apontam dificuldade econômica semelhante, afirmando que essas empresas tem necessidade de recursos para investir em atividades de pesquisa e desenvolvimento em inovação.

A falta de financiamento para esses altos investimentos necessários, resultado de poucos investimentos governamentais ou investimentos concentrados em empresas maiores, são limitações que as PMEs possuem que afetam a transformação digital (MULLER; VOIGT, 2018).

Para que a transformação digital aconteça é preciso que as PMEs superem as limitações financeiras para a implantação das tecnologias da I4.0 (AGOSTINI; NOSELLA, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF *et al.*, 2018;2020).

2.4.5 Síntese das características e limitações na digitalização das PMEs

Com o objetivo de sintetizar a subseção 2.4 os quadros 2 e 3 foram construídos, com base na literatura exposta. O primeiro quadro apresentado é o quadro 2, com uma lista de 18 características que as PMEs podem apresentar que podem influenciar na transformação digital dessas empresas.

Quadro 2 - Síntese das características que PMEs podem apresentar que podem influenciar a transformação digital

EIXO	CARACTERÍSTICAS QUE AS PMES PODEM APRESENTAR QUE INFLUENCIAM NA TRANSFORMAÇÃO	AUTORES
2.4.1 Características e limitações com relação a capacidade em pessoas	1. Baixo treinamento	(BIRKEL <i>et al.</i> , 2019; KUMAR, RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020)
	2. Mão de obra resistente a mudanças	(LI <i>et al.</i> , 2019; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020)

	3. Mão de obra local ou familiar	(HORVÁTH; SZABÓ, 2019)
	4. Baixo atrativo para a mão de obra especializada	(BIRKEL <i>et al.</i> , 2019)
	5. Mão de obra sem competências necessárias	(MULLER; VOIGT, 2018; LI <i>et al.</i> , 2019)
2.4.2 Características e limitações na capacidade organizacional	6. Características do gestor de PME: Centralização das decisões, concentração no proprietário, proximidade dos colaboradores	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; LI <i>et al.</i> , 2019; MITTAL <i>et al.</i> 2018; MOEUF <i>et al.</i> 2018; 2020; VRCHOTA; VOLEK, NOVOTNÁ, 2019; ZAMBOM <i>et al.</i> 2019)
	7. Padronização de processos deficiente	(AGOSTINI E NOSELLA; 2020; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; MITTAL <i>et al.</i> 2018; STENTOFT <i>et al.</i> , 2019)
2.4.3 Características e limitações com relação a capacidade tecnológica	8. Dificuldade com soluções complexas	(MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020; MITTAL <i>et al.</i> 2018).
	9. Infraestrutura de software e hardware precárias	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020)
	10. Segurança cibernética precária	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020)
	11. Dificuldade de compartilhamento de informações	(LI <i>et al.</i> , 2019; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020)
	12. Maquinário antigo	(GHOBAKHLOO; CHING, 2019; MOEUF <i>et al.</i> , 2018)
2.4.4 Características e limitações com a estratégia	13. Recursos financeiros limitados	(AGOSTINI; NOSELLA, 2020; BIRKEL <i>et al.</i> , 2019; GHOBAKHLOO; CHING, 2019; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; KUMAR, RAJESH; SINGH, 2020; MASOOD; SONNTAG, 2020; MITTAL <i>et al.</i> , 2018; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020; MULLER; VOIGT, 2018; STENTOFT <i>et al.</i> , 2019; SEVINÇ <i>et al.</i> 2018)
	14. Dificuldade de cooperação	(BIRKEL <i>et al.</i> , 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MITTAL <i>et al.</i> 2018; MULLER; VOIGT, 2018)
	15. Dependência de parceiros	(KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020).
	16. Relacionamento próximo com o cliente	(MULLER; VOIGT, 2018)
	17. Fortemente influenciável pelo ambiente	(GHOBAKHLOO; CHING, 2019; NEIROTTI, RAGUSEO; PAOLUCCI, 2018)
	18. Estratégias de curto prazo	(AGOSTINI; NOSELLA; 2020; MITTAL <i>et al.</i> 2018; MOEUF <i>et al.</i> 2018)

Fonte: Autoria própria (2021)

Na sequência é apresentado o quadro 3, com uma lista de 26 limitações que as PMEs podem apresentar que influenciam na transformação digital, encontradas na literatura descritas nas seções anteriores.

Quadro 3 - Síntese das limitações que as PMEs possuem para a transformação digital

EIXO	LIMITAÇÕES QUE AS PMES PODEM APRESENTAR QUE INFLUENCIAM NA TRANSFORMAÇÃO	AUTORES
<p>2.4.1 Características e limitações com relação a pessoas</p>	01. Falta de treinamento.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; INGALD; ULEWICZ, 2020; HORVÁTH; SZABO, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020; TURKES <i>et al.</i> , 2019).
	02. Falta de cultura de mudança.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; HORVÁTH; SZABO, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020).
	03. Falta de apoio de especialista.	(MOEUF <i>et al.</i> , 2018).
	04. Falta de incentivo para a mão de obra com competência.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019).
	05. Falta de mão de obra especializada.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; LI <i>et al.</i> , 2019; HORVÁTH; SZABO, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020).
<p>2.4.2 Características e limitações na capacidade organizacional</p>	06. Limitações do gestor da PME: falta de flexibilidade, resistência a mudança, falta de conhecimento, falta de consciência dos benefícios e rentabilidade, falta de atitude positiva em relação a transformação, falta de comunicação transparente e medo da transformação digital.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; GARZONI; TURI, 2020; HORVÁTH; SZABO, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MASSOD; SONNTAG, 2020; MITTAL <i>et al.</i> 2018; STENTOFT <i>et al.</i> , 2020; VRCHOTA, VOLEK, NOVOTNÁ, 2019; ZAMBOM <i>et al.</i> 2019).
	07. Falta de apoio externo especializado ao gestor.	AGOSTINI; NOSELLA, 2020; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MOEUF <i>et al.</i> 2018)
	08. Falta de um líder 4.0 de transformação.	(AGOSTINI; NOSELLA, 2020; MOEUF <i>et al.</i> 2018).
	09. Falta de padronização dos processos.	(AGOSTINI; NOSELLA, 2020; STENTOFT <i>et al.</i> , 2019)
<p>2.4.3 Características e limitações com relação a capacidade tecnológica</p>	10. Falta de soluções menos complexas e específicas.	(HORVÁTH; SZABO, 2019; MASOOD; SONNTAG, 2020; NEIROTI; RAGUSEO; PAOLUCCI, 2018; SEVINÇ <i>et al.</i> , 2018; TURKES <i>et al.</i> , 2019)

	11. Falta de capacidade de armazenamento e exploração de dados	(MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020; STENTOFT <i>et al.</i> , 2019).
	12. Falta de infraestrutura de software e hardware.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019 MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020)
	13. Falta de compartilhamento de informações.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; MULLER; VOIGT, 2018)
	14. Falta de atualização do maquinário.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; GHOBAKHLOO; CHING, 2019; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020; VRCHOTA, VOLEK, NOVOTNÁ, 2019)
2.4.4 Características e limitações com a estratégia	15. Falta de estratégia de longo prazo com um roteiro de transformação.	(AGOSTINI; NOSELLA, 2020; GHOBAKHLOO; CHING, 2019; HORVÁTH; SZABO, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; LI <i>et al.</i> , 2019; MOEUF <i>et al.</i> 2018)
	16. O tamanho da organização.	(MASSOD; SONNTAG, 2020; NEIROTTI, RAGUSEO E PAOLUCCI, 2018; SEVINÇ <i>et al.</i> 2018)
	17. Falta de recursos para investimento em inovação e pesquisa	(KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MITTAL <i>et al.</i> , 2018; MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020)
	18. Falta de recursos para a implantação de novas tecnologias.	(SEVINÇ <i>et al.</i> , 2018)
	19. Falta de recursos para a manutenção e suporte técnico das tecnologias.	(KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; SEVINÇ <i>et al.</i> , 2018)
	20. Falta de recurso para treinamentos.	(HORVÁTH; SZABÓ, 2019)
	21. Falta de recursos já investidos.	(AGOSTINI; NOSELLA, 2020)
	22. Falta de financiamento.	(MULLER; VOIGT, 2018)
	23. Incerteza com a rentabilidade.	(HORVÁTH; SZABO, 2019; SEVIÇ <i>et al.</i> 2018)
	24. Alto custo das tecnologias.	MOEUF <i>et al.</i> , 2018; 2020; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020 HORVÁTH; SZABO, 2019; BIRKEL <i>et al.</i> 2019; NEIROTI RAGUSEO, PAOLUCCI, 2018; GHOBAKHLOO; CHING, 2019)
	25. Falta de parcerias com entidades participantes do ambiente em que está inserida.	(BIRKEL <i>et al.</i> 2019; HORVÁTH; SZABO, 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; GARZONI; TURI, 2020).
	26. Fata de cooperação com os parceiros do ambiente que está inserida.	BIRKEL <i>et al.</i> 2019; KUMAR; RAJESH; SINGH, 2020; MITTAL <i>et al.</i> 2018; MULLER; VOIGT, 2018).

Fonte: Autoria própria (2021)

2.5 Modelos de maturidade e prontidão para avaliar PMES

Esta sessão é destinada a descrever os modelos maturidade e prontidão para a I4.0, construídos especificamente para avaliar PMEs, encontrados na literatura. O termo "prontidão digital" é utilizado por Stentoft *et al.* (2020) para descrever o nível atual das empresas para a exploração e obtenção de benefícios com as tecnologias da I4.0, os autores distinguem a maturidade de prontidão, afirmando que a prontidão é avaliada antes de envolver processos de implantação de tecnologias, enquanto a maturidade é avaliada a partir a implementação efetiva em diante.

Os modelos encontrados na literatura através da pesquisa bibliográfica são apresentados a seguir.

2.5.1 Modelo *SME Craftsmanship Self-Assessment* de Brozzi *et al.* (2018):

O modelo de Brozzi *et al.* (2018) aponta os seguintes requisitos de uma ferramenta específica para avaliar a prontidão para I 4.0 em PMEs: evitar termos e conceitos técnicos, assim os usuários com um conhecimento limitado em I4.0 podem responder a pesquisa; a ferramenta deve possuir um questionário simples e para um tempo de aplicação limitado; o foco deve considerar o nível atual de digitalização sob diferentes perspectivas ou dimensões, assim poderá avaliar a prontidão para a transformação digital; e por último a ferramenta deve apresentar os níveis esperados.

O modelo teórico de Brozzi *et al.* (2018) apresenta uma visão geral em relação aos desafios específicos que as PMEs enfrentam em virtude de suas características, juntamente com as dificuldades que enfrentam em relação as dimensões frequentemente utilizadas nas ferramentas de avaliação de maturidade ou prontidão para transformação digital, descritos a seguir.

Na dimensão **produtos e serviços**, os autores afirmam que as PMES têm desafios com tecnologia no processo de *design* de produtos ou serviços. Na dimensão **relação com o cliente** as PMEs possuem desafios ao longo de toda a cadeia de suprimentos. A dimensão **organização ou gestão de conhecimento e inovação** o desafio é em relação a escassez de práticas de gestão. Na dimensão **estratégia, liderança e roteiro**, os desafios das PMEs são falta de uma estratégia

ou roteiro para a transformação digital e falta de um modelo de negócios para Indústria 4.0. **Produção** é uma dimensão que possui os desafios de falta de conhecimento sobre o potencial de uso das tecnologias. **Segurança e Infraestrutura de TI (tecnologia de informação)** é uma dimensão avaliada nos modelos atuais onde o principal desafio para uma PME é o alto custo. Na dimensão de **pessoal** é necessária uma qualificação adequada dos funcionários, falta competência e conhecimento em I4.0. A dimensão **capacitação e capacitação do ecossistema digital de negócios** os desafios são falta recursos e falta de auxílio de especialistas externos, **questões legais e regulamentos** também é uma dimensão frequentemente avaliada, e os desafios das PMEs nesta dimensão são riscos legais ainda não totalmente enfrentados e incerteza jurídica.

Após a definição dos desafios que as PMEs enfrentam nas dimensões frequentemente utilizadas nos modelos atuais de avaliação e definindo as principais características que uma ferramenta necessita apresentar na abordagem de transformação digital para PMEs, Brozzi *et al.*, (2018) projetaram uma ferramenta de autoavaliação específica para PMEs. A ferramenta avalia somente 3 dimensões: **(i) digitalização e ecossistema, (ii) produção e (iii) operações**, e classifica em 4 níveis de prontidão (i) Tradicional (ii) Recém Chegada ao Digital (iii) Ambiciosa e (iiii) Campeão Digital.

2.5.2 Modelo de Mittal *et al.* (2018)

Mittal *et al.* (2018) constroem inicialmente um conjunto de características específicas das PMEs, essas dão origem as necessidades ou desafios dessas empresas em relação a transformação para a I4.0. Os autores estabeleceram 7 dimensões que contém desafios a serem superados que pelas PMEs, estes são tratados como requisitos específicos a serem avaliados em um modelo de maturidade construído para PMEs.

As dimensões tratadas por Mittal *et al.* (2018) são: **finanças**, disponibilidade de recursos financeiros; **tecnologia**, disponibilidade de recursos técnicos e uso de tecnologias avançadas de fabricação, software para registro e análise de dados, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias; **produção**, possuir normas e padrões de produção; **organização e cultura**, cultura organizacional ou flexibilidade de liderança, estratégia da empresa, tomada de decisões e estrutura

organizacional que favoreçam a transformação digital; **participação dos empregados**, engajamento dos funcionários, treinamento dos funcionários, conhecimento e experiência com a I4.0; **alianças**, alianças com universidades e instituições de pesquisa; **colaboração**, dependência da colaboração de rede, relações com cliente e fornecedores

O objetivo da ferramenta foi avaliar as PMEs de acordo com os desafios a serem superados para a implantação da I4.0

2.5.3 Modelo de Sheen e Yang (2018)

Para a construção deste modelo Sheen e Yang (2018) avaliaram 3 modelos famosos de prontidão e buscando direcionar o modelo proposto para PMEs os autores constroem o modelo de forma que a própria empresa seja capaz de avaliar seu estado atual para I4.0 e Inovação.

Os autores apresentam esse formato devido a muitas PMEs possuírem dificuldades com avaliações detalhadas, em virtude da baixa conscientização sobre Inovação e I4.0 em PMEs. Assim o modelo dos autores assume uma característica de ser sucinto e de fácil entendimento, sendo projetado com apenas duas dimensões de avaliação **instalações fabris inteligentes** e **estratégia e cultura** e 8 critérios.

Na escala de pontuação dos critérios de avaliação, Sheen e Yang (2018), estabeleceram 5 níveis. A escala de medição descreve o status atual de uma fábrica considerando seu nível de preparação da instalação, execução ou operação do sistema e o ambiente organizacional para a implantação da fabricação inteligente. O nível 1, é apontado para a PME que não está preparada. O nível 2, o ambiente ou sistema da PME tem limitações. No nível 3, o ambiente ou sistema está preparado em várias áreas, mas a execução está limitada. No nível 4, o ambiente ou sistema está estabelecido na maioria das áreas, e está sendo executado em diversas áreas. Nível 5, é a classificação para PME com o ambiente ou sistema já estabelecidos todas as áreas, e com execução de ações ágeis.

2.5.4 Modelo Smart PMEs 4.0 de Chonsawat e Sopadang (2019)

Para Chonsawat e Sopadang (2019) com a utilização de tecnologias da I4.0 uma PME tradicional pode se transformar em uma PME Inteligente, ou seja, uma

empresa capaz de trabalhar com flexibilidade, com todos os sistemas interligados e com uma transmissão confiável de dados, seus produtos são inteligentes e todas as etapas da produção podem ser monitoradas, assim como o fluxo de trabalho e o tempo de entrega do produto e com um acesso ao cliente rápido e eficiente e ainda com um ambiente organizacional de cooperação e inovação.

Com o objetivo de direcionar PMEs tradicionais para PMEs inteligentes Chonsawat e Sopadanz (2019) constroem um modelo maturidade para avaliar prontidão, específico da PMEs. Para construção do modelo os autores avaliaram modelos de maturidade e prontidão para a I4.0, com a justificativa de que modelos da maturidade são amplamente utilizados para a medição de prontidão.

Para avaliar a implantação deste conceito de PMEs Inteligentes os autores estabeleceram **5 dimensões**: negócios e estratégia da organização; manufatura e operações; tecnologias orientadas para o processo; suporte digital e capacidade de pessoas.

Os autores estabeleceram para a avaliação de prontidão iniciar com a a classificação de prioridade das dimensões e subdimensões por parte dos gestores, em escala ordinal da mais importante para a menos importante para sua organização. Na sequência a avaliação identifica em cada subdimensão o nível de prontidão e para esta avaliação um questionário é aplicado.

Os autores constroem o questionário em escala Linkert, onde o nível 0 é avaliado como aquele item não é relevante em sua organização; o nível 1 o item, é relevante, mas não está implementada na organização; o nível 2, o item foi implementado em alguma área da organização; o nível 3, o item foi implementado na maior parte das áreas da organização e o nível 4 o item foi totalmente implementado.

Os autores interpretam os resultados a partir da prioridade que gestor aponta para uma dimensão comparando esse resultado com nível de prontidão para aquela dimensão.

2.5.5 Modelo de Chonsawat e Sopadang (2020)

Os autores Chonsawat e Sopadang, escrevem em 2020, um segundo modelo teórico, definindo indicadores essenciais da prontidão da I4.0 para PMEs, com 23 aspectos de prontidão agrupados em **5 dimensões**: Resiliência

Organizacional, Sistema de Infraestrutura, Sistema de Manufatura, Transformação de Dados e Tecnologia Digital.

Os autores utilizam esses aspectos em suas respectivas dimensões para construir uma ferramenta de avaliação de prontidão e auxiliar os gestores de PMEs na identificação de dimensões críticas para implementar a I4.0.

Cada indicador ou item avaliado indica a pontuação da habilidade e possui a pontuação escala de 1 a 5 pontos, sendo 1 para baixa capacidade e 5 para a capacidades total. Esses indicadores são transformados em escala (0–1), a pontuação média dos indicadores indica pontuação de prontidão para I4.0 das PMEs.

2.5.6 Modelo de Gamache, Abdul-Nour e Baril (2019)

O modelo de medição de transformação digital de Gamache, Abdul-Nour e Baril (2019) foi construído para auxiliar a transição digital de PMEs. O modelo é composto por 6 dimensões: **liderança, cultura e organização, tecnologia, gestão de dados, sistema de mensuração e experiência do cliente**. E essas dimensões derivam-se em 24 fundamentados em torno do tema da transformação digital.

Os autores testam o modelo, por meio de um questionário de auto avaliação, a fim de determinar os componentes mais relevantes do desempenho digital para PMEs industriais para a transição digital.

2.5.7 Modelo de Modrak, Soltysova e Poklemba (2019)

Modelo construído para apoiar a implementação e aplicação da I4.0 para PMEs, em três áreas principais do conceito da I4.0, logística inteligente, produção inteligente e área organizacional e gerencial, identificando o status atual e planejado ou requerido. Os domínios foram divididos em 14 exigências que as PMEs possuem ou necessitam realizar.

O modelo foi construído com o objetivo para apoiar a implementação e aplicação da I4.0 para PMEs e apresenta uma ferramenta de autoavaliação de prontidão que auxilia a PME nessa implementação. A aplicação do questionário iniciou com uma oficina de explicação dos principais conceitos avaliados, posteriormente os gestores responderam ao questionário. Cada exigência proposta

no modelo, possui cinco categorias que representam os níveis de onde 1 é o nível mais baixo e 5 é o nível mais alto de preparação.

2.5.8 Modelo de Kolla, Minufekr e Plapper (2019)

Os autores revisam a literatura existente para identificar as características de um PME fabricante, nove características foram identificadas cada característica é atribuída a uma dimensão e componente do *Lean* e da I4.0. As dimensões que compõem o modelo são: estratégia de produto, tecnologia, clientes, operações, liderança, fornecedores, empregados e cultura.

Os autores construíram um questionário de autoavaliação com questões quantitativas relacionadas com as dimensões identificadas na pesquisa. As respostas das questões quantitativas são então analisadas e os resultados da análise são apresentados graficamente para facilitar a compreensão do gestor da PME.

O modelo foi construído com foco a preencher as lacunas existentes dos modelos atuais para as PMEs, ou seja, estar adequado a realidade de uma PME, incluindo aspectos de *Lean* e da I4.0 para avaliar seu estado atual na transformação. O modelo não apresenta ainda níveis de maturidade e aplicação prática, embora os autores afirmem que este será o próximo passo.

2.5.9 Modelo de Trotta e Garengo (2019)

Para construir esse modelo os autores entrevistaram gestores de quatro PMEs manufatureiras que estão implementando a I4.0 para identificar os principais desafios dessas empresas no processo de transformação. Com base nos desafios os autores analisaram modelos existentes na literatura para apoiar construção de um modelo específico de maturidade para a I4.0 em PMEs. Os autores definiram cinco dimensões de avaliação da escala de maturidade: **estratégia, tecnologia, produção, produtos e pessoas.**

O objetivo de avaliação de cada dimensão apontado por Trotta e Garengo (2019) são os seguintes: **estratégia**, identificar a estratégia atualmente adotada por empresas relacionadas com a implementação do I4.0. **Tecnologia**, identificar o nível tecnológico de implementação para I4.0 dentro das empresas. **Produção**, identificar de que forma as tecnologias permitem a produção se tornar mais

orientada para I4.0. **Produtos**, identificar as funcionalidades dos produtos e sua capacidade de processar e trocar informações de forma autônoma. **Pessoas**, identificar as práticas de recursos humanos realizadas para apoiar implementação da I4.0

Com a conclusão de que os modelos existentes na literatura avaliados são complexos demais para os desafios que as PMEs enfrentam, os autores desenvolveram uma ferramenta que abrangente esses desafios das PMEs na implantação da I4.0, com a característica de ser uma ferramenta legível e sucinta com uma escala para apoiar a implementação da I4.0 em PMEs.

Os autores estabelecem itens de avaliação para cada dimensão, e estes são avaliados em escala Likert, variando de 1 a 5, onde 1 é "não implementado/não implementado presente" e 5 "completamente implementada/presente". Os dados são calculados como a média dos itens medidos em cada dimensão e apresentados graficamente assim as PMEs podem visualizar o resultado e planejar as atividades necessárias para aumentar o nível de maturidade.

2.5.10 Modelo de Brozzi *et al.* (2020)

O modelo de maturidade Brozzi *et al.* (2020), apresenta um questionário online chamado "Digital Check" que permite que PMEs se autoavaliem em relação ao nível de maturidade digital para a I4.0.

O modelo foi construído com a estrutura e os objetivos das ferramentas de autoavaliação existentes e adaptado de acordo com os desafios que as PMEs enfrentam ao iniciar a transformação digital, a ferramenta é composta por 26 questões nas seguintes dimensões: **estratégia, processos, Indústria 4.0, funcionários, tecnologia de informação, segurança e dados**. O nível digital atual avaliado pelas PMEs é calculado considerando a média das respostas.

O questionário do modelo de prontidão Brozzi *et al.* (2020) apresenta opções de resposta em escala Likert, das opções de respostas derivam de cinco níveis, variando de 1 (baixo nível de implementação) a 5 (alto nível de implementação). As médias calculadas de cada dimensão dão origem a índice global e este índice é representado qualitativamente conforme a descrição dos níveis.

Recém- chegados digitais (baixo nível digital), as PMEs classificadas com esse nível não consideram a transição para a I4.0 relevante. Poucos ou nenhum dos processos de produção suportam a integração de tecnologias. O compartilhamento de dados e informações corporativas ainda é limitado. As habilidades dos funcionários ainda são inadequadas na perspectiva da I4.0.

Empresas em Transição (médio nível digital), as PMEs deste nível demonstram interesse no conceito da I4.0. Elas estão dando os primeiros passos para compartilhar informações tanto internamente quanto com seus parceiros de negócios. Algumas tecnologias podem ser incorporadas, em algum momento do processo produtivo. Em determinadas áreas as competências dos colaboradores estão a revelar-se suficientes para aplicar ou testar os conceitos da I4.0. Esse tipo de empresa está recebendo colaborações de institutos de pesquisa ou consultorias estratégicas.

Top-Performer (alto nível digital), as PMEs deste nível estão em estágio avançado de implantação da I4.0. Possuem uma estratégia para a implementação e existem investimentos em várias áreas para testes. O compartilhamento de informações acontece internamente e externamente. Os processos de produção são integrados aos sistemas de tecnologias, graças aos quais os dados de produção são coletados e usados para monitoramento e otimização dos próprios processos. Este tipo de empresa concluiu várias experiências de colaboração com diferentes parceiros.

2.5.11 Modelo de Dutta *et al.* (2020)

O modelo de Dutta *et al.* (2020) é direcionado para PMEs, pois a aplicação da ferramenta inicia com um trabalho de palestras e entrevistas explicativas sobre a avaliação, com gestores de PMEs sobre a I4.0. Os autores reconhecem que cada PME é única, com características individuais em seus negócios, em seu sistema de fabricação e em seus valores organizacionais que a estabelece e sustenta.

Assim os autores entendem que, para implementar práticas inteligentes de fabricação para essas empresas, é necessário primeiro identificar e estabelecer prontidão organizacional e com base em seus atuais níveis identificar seus desafios específicos e individuais de transformação para a I4.0.

O modelo é específico para avaliar a cadeia de valor de PMEs industriais e tem o foco no sistema produtivo, com as seguintes dimensões ou áreas funcionais avaliadas: aspectos preparatórios e de capacitação, design de produto, planejamento da produção, engenharia da produção, execução da produção, serviços e infraestrutura.

As 7 dimensões que compõem o modelo teórico para avaliar o *status* da adoção de tecnologias da I4.0 pelas PMEs deram origem ao instrumento de avaliação de maturidade, projetado com 43 itens, que representantes das PMEs responderam após participarem de palestras de conscientização. A adoção atual e as ações futuras foram pontuadas em 5 níveis de maturidade para cada uma das dimensões.

2.5.12 Modelo de Genest e Gamache (2020)

No modelo de Genest e Gamache (2020) os autores realizam uma revisão de literatura e identificam os pré-requisitos para uma PME manufatureira estar preparada para implementar com sucesso a I4.0. Independente da tecnologia a PME deve apresentar os pré-requisitos nas seguintes dimensões: conhecimento, estratégias comerciais, manufatura enxuta, capacidade financeira, acessibilidade dos dados, agilidade na fabricação, e dados em tempo real.

O modelo teórico ainda será testado, afim de estabelecer uma linha de referência entre a preparação e o início da implementação da I4.0, onde os pré-requisitos podem orientar as empresas quanto a qual direção tomar, a fim de completar a transformação para I4.0

2.5.13 Modelo de Axmann e Harmoko (2020)

Antes de construir a ferramenta os autores definiram os requisitos que a nova ferramenta específica para PMEs deveria possuir. A nova ferramenta de avaliação deve ser capaz de medir a preparação das PMEs em I4.0, através das categorias relevantes. A ferramenta deve ser acompanhada de diretrizes práticas ou exemplos práticos para os diferentes níveis de prontidão. As categorias e seus níveis devem ser definidos corretamente e claramente, para que as empresas possam conhecer seu status atual e passo futuro na I4.0. A descrição de cada dimensão ou item e de cada nível deve ser clara e compreensível. A ferramenta de

avaliação deve estar disponível on-line para facilitar empresas na realizarem autoavaliações. Essa apresentação avaliação on-line deve ser clara e atrativa. As perguntas na avaliação online devem ser claras, simples e compreensível

Com a definição desses requisitos os autores avaliaram 3 modelos não específicos para avaliar se possuíam esses requisitos e concluíram que nenhum modelo continha todos os requisitos. Com base nesses modelos e nos requisitos estabelecidos construíram um modelo específico para avaliar PMEs,

A construção da ferramenta foi concentrada em PMEs ao determinar os critérios relevantes que podem medir a prontidão para a I4.0 de PMEs de forma apropriada. Esses critérios foram agrupados em três pilares ou dimensões: dados, software e hardware e 12 critérios de avaliação ou subdimensões. Para cada item avaliado os autores estabeleceram 5 níveis, com descrição específica para cada item.

2.5.14 Modelo CCMS (Company CoMpaSs) de Nick *et al.* (2020)

O modelo é baseado em pilares, que são os aspectos da digitalização industrial: valor, criação de valor e ecossistema. Sob esses pilares foram construídas as 7 dimensões: estratégia, recursos, produtos e serviços, cadeia de valor mundo real, mundo virtual e pessoas.

Sob as dimensões, os autores identificaram os pontos de intervenção específicos para PMEs. Estes mostram à empresa os campos onde precisa fazer mudanças para atingir um nível de maturidade mais alto. Os autores apresentam os pontos de intervenção somente de três dimensões no artigo, para a demonstração da abordagem do modelo e a estrutura dos pontos de intervenção

O nível de prontidão de cada item é calculado utilizando perguntas pré-definidas de cada ponto de intervenção. As respostas a cada pergunta determinam a prontidão digital da organização para esse ponto particular de intervenção. Assim os autores oferecem uma ferramenta de avaliação econômica, rápida e de baixo risco para a I4.0 que ajuda as PMEs do setor de manufatura a determinar os pontos de intervenção para atingir sua digitalização.

2.5.15 Modelo de Ottesjö *et al.* (2020)

Os autores realizaram uma pesquisa bibliográfica para apoiar a construção do modelo, esta identificou as áreas do processo produtivo que as PMEs têm oportunidades com a transformação digital e as áreas mais críticas.

Na pesquisa bibliográfica os autores selecionam quatro modelos de maturidade e prontidão para servirem de base para a construção do modelo, e posteriormente coleta de dados nas PMEs.

A ferramenta é baseada em pilares da transformação digital apresentados pelos autores: *digital twin* e gestão de dados, estes foram avaliadas como dimensões para medir o nível de digitalização ao longo do ciclo de cadeia de produtiva de PMEs. Essas duas dimensões foram subdivididas em 8 itens ou subdimensões, e para estas oito categorias 37 perguntas foram utilizadas no instrumento de avaliação para determinar nível de digitalização de cada item.

Os autores estabeleceram 8 níveis de maturidade digital. Nível 1, as empresas desta categoria geralmente só utilizam tecnologia obsoleta. Nenhuma das oportunidades que existem com a mudança tecnológica é utilizada e também não há incentivo para entrar na próxima mudança tecnológica, pois esta não é uma meta para a empresa.

No nível 2, as empresas nesta categoria geralmente utilizam uma mistura de tecnologia ultrapassada e mais nova. Poucas das oportunidades que existem com a mudança tecnológica são utilizados, mas há incentivos para mudar ou planos.

No nível 3, as empresas nesta categoria geralmente utilizam uma mistura de tecnologias ultrapassadas e mais novas, onde a maioria é atual. Algumas das oportunidades que existem com a mudança de tecnologia estão sendo exploradas e a transformação está no planejamento, mas apenas algumas medidas ativas são tomadas para digitalizar.

Nível 4, as empresas desta categoria geralmente utilizam tecnologias mais novas onde há poucos elementos de tecnologia ultrapassada. Muitas das oportunidades que existem com a mudança de tecnologia estão sendo exploradas à medida que são tomadas ações ativas para uma maior digitalização.

Nível 5, as empresas desta categoria geralmente usam apenas tecnologias atuais. A maioria das oportunidades que existem com a tecnologia estão sendo

exploradas e o negócio está avançado para a transformação tecnológica, uma vez que os planos são estabelecidos e estão sendo realizados de forma ativa.

2.5.16 Modelo de Pirola, Cimini e Pinto (2020)

Na avaliação dos modelos de maturidade e prontidão atuais, os autores Pirola, Cimini e Pinto (2020), identificaram duas limitações em relação as PMEs, falta de foco nessas empresas e a rigidez dos modelos.

Buscando ultrapassar as limitações dos modelos atuais, os autores, desenvolveram um modelo específico pra PMEs que permite a modularidade na avaliação, ou seja, é possível excluir da avaliação perguntas que não se apliquem ao contexto específico da PME avaliada. Outra característica do modelo proposto permite a avaliação do estado atual da PME contribuindo para a criação de uma estratégia de implementação da I4.0 para PMEs.

O modelo para a avaliação foi construído com 5 dimensões: **estratégia**, analisa a estratégia da empresa com relação à digitalização e à adoção dos princípios do I4.0, identificando as principais barreiras das PMEs à implementação. A dimensão **pessoas**, analisa as competências, relacionada ao conhecimento necessário para a I4.0 das pessoas e como ele é gerido dentro da empresa. A dimensão **processos**, analisa a forma como os processos internos são geridos do ponto de vista da digitalização e como os dados são recolhidos, compartilhados e gerenciamento dentro da empresa. A dimensão **tecnologia** analisa a atual adoção das principais tecnologias de capacitação da I4.0, como: tecnologias de rastreabilidade, fabricação inteligente, comunicação homem máquina, computação em nuvem e robótica. A dimensão **integração** analisa integração **vertical e horizontal**. Na vertical avalia os sistemas de informação atualmente implementados dentro de uma empresa e o seu nível de integração entre eles. Assumindo que a integração vertical é alcançada quando todos os sistemas de informação são integrados e trocam informações. E a integração horizontal avalia comunicação e integração eficiente através de compartilhamento de informações com clientes e fornecedores.

O questionário de avaliação construído pelos autores possui 46 perguntas divididas em 3 sessões, a primeira sessão referente a características da empresa, a segunda sessão com questões em escala Likert e a última sessão com perguntas

de única escolha. O resultado das respostas gera uma pontuação numérica que determinará os níveis de prontidão da empresa avaliada.

Nível 1, refere-se as PMEs que não possuem iniciativas piloto da I4.0. Com relação aos sistemas somente alguns processos são digitalizados e a infraestrutura atual não permite uma integração dos processos. A recolha e registro de dados não é feita. Poucas áreas da empresa possuem competências necessárias para implementar a indústria 4.0. A Integração horizontal e o compartilhamento de informações são limitados, não estando prevista qualquer integração com outros atores da cadeia de valor. O negócio não apresenta abordagens orientadas para o serviço ou baseadas em computação em nuvem.

Nível 2, representa nível intermédio para a I4.0 na sua orientação estratégia para a I4.0, possuem algumas iniciativas piloto. Os sistemas de informação dão suporte as atividades de rotina e os processos são na maioria digitalizados. Com registro automático de dados. A integração horizontal e o compartilhamento de informações são limitados. Os empregados possuem competências necessárias para a I4.0 apenas em alguma área.

Nível 3, a PME já formulou uma estratégia para a I4.0 e está investindo recursos para promover a introdução da fabricação inteligente. Sistemas de informação apoiam a maioria dos processos, e a infraestrutura atual permite a integração dos processos. Os dados são automaticamente recolhidos em tempo real em áreas chave da produção. O compartilhamento de informação, tanto interna como com autores externos, está parcialmente integrada com o sistema. Possui a prestação dos primeiros serviços orientados para os dados, que ainda contabilizam uma pequena parte das receitas. A empresa está apoiando a expansão de competências dos empregados.

Nível 4, destinado a uma PME que já está implementou uma estratégia da I4.0, ela monitora o seu desenvolvimento com indicadores adequados. A empresa está horizontalmente e verticalmente integrada, com fluxos de informação automatizados. Os dados dos processos de produção são recolhidos e utilizados para melhoria. O compartilhamento de informação é amplamente integrado, tanto internamente como com parceiros da cadeia de valor. Os produtos são inteligentes, permitindo a recolha de dados durante a utilização, possibilitando serviços orientados por dados. Os serviços estão disponíveis para acesso através de

dispositivos móveis. A empresa tem as competências necessárias na maioria das áreas relevantes.

Nível 5, para uma PME que já implementou a sua estratégia para a I4.0 e monitora continuamente a sua implementação. A empresa é totalmente digitalizada e integrada com a cadeia de valor. Os investimentos são feitos em toda a empresa. Possui uma grande quantidade de dados sobre os processos de produção e eles são recolhidos e trabalhados para a melhoria dos processos. Algumas áreas de produção possuem processos autônomos. Os dados são recolhidos durante a fase de utilização dos produtos e são utilizados manutenção remota. Possuem serviços orientados por dados que são oferecidos para consumidores e representam uma parte significativa das receitas, a empresa está totalmente integrada com o cliente e os funcionários tem competências em todas as áreas.

2.5.17 Modelo de Rafael *et al.* (2020)

Para a construção de um modelo destinado a avaliar maturidade para I4.0 de PMEs do setor de Máquinas-Ferramenta foram estabelecidas duas etapas principais.

A primeira etapa com foco na construção de um modelo teórico de maturidade específico para o setor pesquisado. O modelo foi construído com base na revisão dos modelos existentes, com critérios como: confiabilidade, referência acadêmica relacionado a aplicação do modelo em uma PME de manufatura, com a orientação para as características especiais para PMEs do setor, ser descrita como uma ferramenta online e de fácil aplicação, e apresentar o objetivo de avaliar I4.0. Com os modelos selecionados a partir desses requisitos, foi possível estabelecer as dimensões e subdimensões e os níveis de maturidade.

A segunda etapa foi composta da aplicação do modelo de maturidade e validação da ferramenta. As dimensões avaliadas específicas para o setor pesquisado são: **estratégia e organização, fábrica inteligente, produto inteligente, servitização, operações inteligentes** e a dimensão **pessoal**. As 6 dimensões avaliadas possuem 23 subdimensões ou critérios de avaliação, cada subdimensão dá origem a uma questão de avaliação em que o respondente seleciona a resposta que representa seu nível de maturidade.

Com relação a escala foram estabelecidos 6 níveis e descritos de 0 a 5. O Nível 0, chamado de forasteiro representa uma empresa que não atende a nenhuma dos requisitos para a I4.0 ou PMEs que indicaram que a I4.0 é desconhecida ou irrelevante. O nível 1 é o iniciante, são empresas que começaram a implementar um projeto piloto de I4.0. O nível 2 é o intermediário e são organizações que incorporam alguma iniciativa da I4.0 em sua orientação estratégica. Nível 3, é chamado de experiente, a empresa já formulou sua estratégia para I4.0 e está fazendo investimentos relacionados com a I4.0 em múltiplas áreas. Nível 4, chamado de especialista, refere-se a uma PME especialista que já está usando alguma estratégia relacionada a I4.0, monitora com indicadores apropriados, os investimentos estão sendo realizados em quase todas as áreas relevantes. Nível 5, chamados de Top Performers, neste nível a empresa já implementou sua estratégia I4.0 e monitora regularmente, com investimento em todas as áreas.

2.5.18 Modelo de Rauch *et al.* (2020)

A pesquisa bibliográfica de Rauch *et al.* (2020), analisou criticamente 9 modelos e maturidade e 4 modelos de prontidão para a I4.0 específicos para PMEs, e constataram que os modelos não tratavam com detalhes sobre os conceitos e tecnologias únicas da I4.0 avaliavam apenas dimensões ou campos de aplicação, assim os autores desenvolveram um modelo de maturidade específico para PMEs que apresenta as tecnologias e conceitos da I4.0 de cada dimensão ou campo de aplicação avaliado.

O modelo descrito apresenta 42 conceitos e tecnologias da I4.0 encontrados que foram separados em 21 subdimensões e posteriormente agrupados em 4 dimensões: a dimensão **operações** apresenta conceitos/tecnologias da I4.0 para processos produtivos e operacionais, a dimensão **organização** para processos organizacionais, a dimensão **pessoa e cultura** relativos à cultura corporativa e temas relacionados aos funcionários e a última dimensão, **tecnologia** apresenta conceitos e tecnologias orientadas a dados e processos.

A ferramenta de avaliação apresenta uma escala Likert com cinco níveis de maturidade, iniciando com opções como, não utiliza ou desconhece, até o nível

máximo com opções de utiliza e monitora. Para facilitar a aplicação do modelo de avaliação em PMEs, os níveis de maturidade são expressos e descritos não apenas por números de 1 a 5, mas com a combinação de termos e uma breve explicação ou exemplo.

Após indicar seu estado atual com relação aos conceitos e tecnologias a PME indica também o nível que gostaria de atingir no médio prazo, indicando assim a diferença entre o nível alvo da empresa e o nível atual.

2.5.19 Modelo de Amaral e Peças (2021)

A construção do modelo de Amaral e Peças (2021) buscou preencher duas lacunas dos modelos não específicos pra PMEs. A primeira é desenvolvendo um modelo que considere os obstáculos ou dificuldades de implementação do conceito I4.0 para PMEs. Outra lacuna dos modelos gerais, apontada pelos autores é o a falta de granularidade nos níveis iniciais.

Então o modelo se caracteriza como específico por possuir um detalhamento maior e específico dos níveis, para uma melhor avaliação por parte das PMEs e com níveis mais baixos de maturidade, iniciando pelo nível 0.

O modelo possui 6 dimensões: **tecnologia, processos de produção, pessoas, produto inteligente, organização, estratégia de mudança**, e 26 subdimensões. Cada subdimensão é avaliada com uma pergunta no questionário, onde o respondente deve atribuir um nível a esta. As dimensões são apresentadas como o número de áreas dentro da empresa relacionadas ao conceito que o modelo avalia.

Para facilitar o processo de atribuição do nível de maturidade, cada questão vem acompanhada de seis respostas pré-definidas, que também podem auxiliar na formulação da questão. Um exemplo apresentado pelos autores, na dimensão tecnologia, a subdimensão apresenta o item Infraestrutura e equipamento com as opções no nível 0 para “Não possuem sensores e atuadores”, com descrição para cada nível, até chegando à descrição do nível 5 “Sistema de controle com sistemas abertos”.

No modelo de maturidade de Amaral e Peças (2021) os níveis representam o número de etapas ou estágios pelos quais a empresa precisa avançar para uma

implementação da I4.0. Esses níveis se decompõem em seções fáceis e compreensíveis de dimensões ou subdimensões.

2.5.20 Modelo *Capability Maturity Model of Industrial 4.0 for SMEs* (CMMI-SMEs) de Chaopaisarn e Woschank (2021)

Para os autores as tecnologias da I4.0 tem transformado as atividades logísticas, antes geridas totalmente pelo homem agora sistemas ciberfísicos auto-organizados. Dessa forma é possível que que empresas atinjam seu máximo potencial produtivo, se tornando um sistema logístico inteligente.

Para avaliar maturidade para Logística Inteligente em PMEs, os autores construíram um modelo denominado *Capability Maturity Model of Industrial 4.0 for SMEs (CMMI-SMEs)*. Que tem por objetivo avaliar sistematicamente as capacidades das PMEs de integrar a logística inteligente em relação à visão da I4.0.

Inicialmente os autores identificam fatores chaves que capacitam as PMEs para a Logística Inteligente, que são registro e armazenamento de dados em uma plataforma, transmissão desses dados em tempo real através da estrutura de IoT e posterior aperfeiçoamento ou substituição desta plataforma com correções para otimizar o uso na coleta de dados.

Após a identificação desses capacitores os autores construíram um modelo de maturidade baseado em modelos generalistas para avaliar a I4.0, apresentados na literatura, com dimensões que avaliem esses capacitores. O modelo possui 6 dimensões: **estratégia, cliente, produto, operações, pessoas e tecnologia** e 18 subdimensões.

Cinco níveis para a logística inteligente são definidos pelos autores, **Inicial**: processo indocumentado, que pode causar um ambiente caótico ou instável. **Repetível**: os processos são repetíveis com possíveis resultados constantes, mas não é padronizado. **Definido**: possui um conjunto de processos padrões definidos e documentados, com algum grau de melhoria ao longo do tempo e está em fase de desenvolvimento. **Gerenciado**: possui o uso de métricas de processamento para gerenciar o processo. **Otimizado**: possui um processo de melhoria contínuo implementado com tecnológicas inovadoras.

2.5.21 Modelo *Smart SME Technology Readiness Assessment* (SSTRA) de Saad, Bahadori e Jafarnejad (2021)

Saad, Bahadori e Jafarnejad (2021) desenvolveram a ferramenta que foi aplicada com dois focos distintos e inicialmente ela foi desenvolvida para avaliar o nível de maturidade tecnológica das PMEs para implementar a I4.0. Este modelo inicial tem foco no *design* de produto inteligente e posteriormente foi adaptada para examinar o nível de maturidade tecnológica das PMEs para implementar a I4.0 com foco no planejamento e controle de produção inteligente.

Em ambos os modelos a aplicação acontecem em três fases. A primeira fase é chamada de requerimento, onde os pesquisadores mapeiam informações da PME para analisar a prontidão, onde os avaliadores a coletam informações sobre a relevância das tecnologias nas PMEs por meio de *workshops*. Isso permite que a empresa identifique, selecione e priorize os principais requisitos, chamados de critérios motivadores e tecnologia. Esses requisitos são previamente identificados pelos autores na literatura e a priorização é realizada com o método AHP.

O modelo conceitual da ferramenta com o foco no design de produto inteligente, possui três requisitos utilizados como critérios para avaliação de maturidade: planejamento e gestão dados em tempo real, flexibilidade do sistema e projeto. Compõem o modelo conceitual os fatores que impulsionam o design de produto inteligente chamados pelos autores de motivadores e por último as tecnologias que permitem apontadas como necessária.

Na adaptação da ferramenta para o foco no planejamento e controle de produção inteligente os três critérios específicos para esse tema foram estabelecidos: um sistema de gerenciamento de dados em tempo real, planejamento dinâmico de produção e controle autônomo de execução. Assim como novos motivadores e novas tecnologias compõem o modelo adaptado.

Em ambos os modelos, na segunda fase da aplicação da ferramenta cada tecnologia é avaliada segundo seu indicador de prontidão. Cada tecnologia possui cinco indicadores de prontidão apresentado em níveis. A avaliação ocorre por meio de um questionário, este apresenta uma explicação detalhada de cada nível para cada tecnologia, assim a PME pode comparar facilmente sua prontidão tecnológica e identificar sua situação atual em relação a cada tecnologia específica. O resultado

desta etapa é usado na fase de avaliação para medir a prontidão de transição das PME.

Cinco níveis são estabelecidos para cada tecnologia, sendo: **forasteiro** se refere a PME que seguem métodos convencionais sem uso de tecnologias, não estão conscientes e confiantes o suficiente para iniciar sua jornada em direção à I4.0 ou eles podem assumir que a I4.0 é irrelevante para eles. **Iniciante** é uma PME que começou a pensar na mudança da sua estratégia para empregar tecnologias da I4.0, mas o investimento é muito limitado. **Aprendiz** se refere a uma PME que definiu um roteiro claro para implementando tecnologias da I4.0 e já começou a usar algumas tecnologias da I4.0, mas de forma limitada. **Experiente** é a PME que empregou tecnologias da I4.0 mas precisa investir mais recursos. **Líder** é uma PME que empregou inteiramente as atividades relacionadas à I4.0.

Na última fase ou fase de avaliação, os pesquisadores utilizam os resultados das fases anteriores para calcular o índice de prontidão. De acordo com a ponderação dos critérios, motivadores e tecnologias, estes priorizados na fase inicial e a pontuação dada a cada tecnologia da fase dois, é calculada o índice total.

2.5.22 Modelo de Yezhebay *et al.* (2021)

O modelo de Yezhebay *et al.* (2021) é focado no desenvolvimento e avaliação de maturidade digital específico para PMEs. O modelo apresenta dimensões, subdimensões e níveis, construídos após a pesquisa das características mais significativas das PMEs.

Com base nessas características das PMEs, os seguintes requisitos foram estabelecidos para indicar maturidade digital: o nível de conhecimento digital do proprietário ou gerente e funcionários; habilidades dos funcionários ou capacidade de adquiri-las; roteiro estratégico e orçamento para a digitalização; nível de tecnologias utilizadas; nível de digitalização do processo e operações; e nível de digitalização para o processo de obtenção *feedback* dos clientes sobre o produto, para rastrear o nível de satisfação dos clientes.

O modelo de avaliação também foi estabelecido com base nas características das PMEs, com seis dimensões: **pessoas, liderança, estratégia, tecnologia, operações e produto** e 15 subdimensões.

O modelo é dividido em seis níveis de maturidade que avaliam a atual prontidão da empresa. O nível 0, também chamado de *forasteiros*, são as PMEs que ainda não implementaram nenhuma prática de digitalização. O nível 1 é o iniciante, que são PMEs com alguma iniciativa em transformação digital; o nível 2 é fase intermediária, essas empresas possuem a infraestrutura necessária para a transformação digital. O nível 3 é para empresas chamadas de experientes. O nível 4 é para especialistas, estas possuem integração horizontal com uma rede que já implementou análise de grandes dados e aprendizagem de máquinas e o nível 5 é destinado a empresas que executam e monitoram todos os requisitos para a maturidade digital.

Com um questionário de apenas 16 perguntas, baseados nas 15 subdimensões. Cada pergunta possui seis tipos de respostas: não existem, planejado, em desenvolvimento, preparado, em implementação e implementado. A PME também avalia a importância de cada fator para a transformação digital para si, em 4 escalas, iniciando com não muito importante até muito importante

2.5.23 Visão geral dos modelos

O quadro 4 apresenta uma visão geral dos modelos teóricos encontrados na literatura. O quadro apresentado está ordenado por ano de publicação, com informações de seus autores, nome do modelo, objetivo da avaliação, se ele foi caracterizado como maturidade ou prontidão, o número de dimensões avaliadas, número de subdimensões critérios ou itens que os modelos avaliam, os níveis que o modelo avalia e por último se apresenta questionário e qual o número de questões apresentadas.

Quadro 4 – Visão geral dos modelos teóricos encontrados na literatura

	Autor	Objetivo da ferramenta	Prontidão ou maturidade	N Dimensões	Itens, critérios ou subdimensões	Níveis	Questionário
1	Brozzi <i>et al.</i> (2018)	Avaliar a Prontidão para Transformação Digital para PMEs	Prontidão	3	23	4	Não descreve
2	Mittal <i>et al.</i> (2018)	Avaliar as PMEs de acordo com desafios	Prontidão	7	15	Não descreve	Não descreve

		a serem superados para transformação para a Indústria 4.0.					
3	Sheen e Yang (2018)	Avaliar a prontidão para implantação da fábrica inteligente	Prontidão	2	7	5	Não descreve
4	Chonsawat e Sopadanz, (2019)	Medir a prontidão para PME inteligente	Prontidão	5	52	Não descreve	Não descreve
5	Gamache; Abdul-Nour e Baril (2019)	Medir a transformação digital de PMEs	Prontidão	6	24	Não descreve	Não descreve
6	Modrak; Soltysova e Poklemba (2019)	Medir a implementação da Indústria 4.0 para PMEs	Prontidão	3	14	Não descreve	Não descreve
7	Kolla, Minufekr e Plapper, (2019)	Avaliar o estado atual de uma PME para a implantação do Lean ou Indústria 4.0	Prontidão	8	33	5	Não descreve
8	Trotta e Garengo (2019)	Avaliar o estado atual de implantação da Indústria 4.0 em PMEs	Maturidade	5	Não descreve	Não descreve	Não descreve
9	Brozzi <i>et al.</i> (2020)	Avaliar o nível digital da Indústria 4.0 de PMEs	Maturidade	6	23	Não descreve	Não descreve
10	Chonsawa e Sopadang, (2020)	Avaliar a prontidão digital para a Indústria 4.0 para PMEs	Prontidão	5	23	Não descreve	Não descreve
11	Dutta <i>et al.</i> (2020)	Avaliar a prontidão da cadeia de valor de PMEs industriais para Indústria 4.0	Prontidão	7	43	5	Não descreve
12	Genest e Gamache (2020)	Avaliar o nível de prontidão para as tecnologias da Indústria 4.0	Prontidão	9	48	Não descreve	Não descreve
13	Axmann, e Harmoko (2020)	Avaliar a prontidão para a Indústria 4.0	Prontidão	12	3	Não descreve	Não descreve
14	Nick <i>et al.</i> (2020)	Avaliar a prontidão para digitalização industrial para PMEs	Prontidão	7	Incompleto	Não descreve	Não descreve
15	Ottesjö <i>et al.</i> (2020)	Avaliar nível de digitalização ao longo do ciclo de produtiva de PMEs	Maturidade	2	8	Não descreve	Não descreve
16	Pirola, Cimini e Pinto (2020)	Avaliar nível de maturidade digital PMEs.,	Maturidade	5	60	5	46 perguntas
17	Rafael <i>et al.</i> (2020)	Avaliar maturidade para Indústria 4.0 de PMEs de Máquinas-Ferramenta	Maturidade	6	23	Não descreve	Não descreve

	Autor	Objetivo da ferramenta	Prontidão ou maturidade	N Dimensões	Itens, critérios ou subdimensão	Níveis	Questionário
18	Rauch <i>et al.</i> (2020)	Avaliar a maturidade de PMEs para conceitos e tecnologias da Indústria 4.0.	Maturidade	4	42	5	Não descreve
19	Amaral e Peças (2021)	Avaliar a maturidade para a I4.0 de PMEs	Maturidade	6	23	Não descreve	Não descreve
20	Chaopaisarn e Woschank (2021)	Avaliar a maturidade de PMEs para Logística Inteligente avaliação da logística SMART para PMEs	Maturidade	6	18	5	Não descreve
21	Saad, Bahadori e Jafarnejad, (2021)	Avaliar o nível tecnológico das PMEs inteligentes para implementar a Indústria 4.0 com foco no design de produto inteligente	Maturidade	3	30	5	Não descreve
22	Saad, Bahadori e Jafarnejad, (2021)	Adaptada para examinar o nível de maturidade tecnológica das PMEs inteligentes para implementar a Indústria 4.0 com foco no planejamento e controle de produção inteligente.	Maturidade	3	32	5	Não descreve
23	Yezhebay <i>et al.</i> (2021)	Avaliar maturidade digital de PMEs	Maturidade	6	15	6	16 perguntas

Fonte: Autoria própria (2021)

A maioria dos modelos, no total 12, avaliavam a prontidão e 11 modelos avaliam maturidade. Todos os modelos avaliam em dimensões, que apresentam subdimensões ou itens específicos de cada dimensão, apenas dois modelos não apresentaram ou apresentaram de forma incompleta esses itens. É deficiente a apresentação de questionários nos modelos encontrados, a maioria não apresenta, somente dois modelos publicam o questionário.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada no presente trabalho, bem como a caracterização desta pesquisa. Compõem também este capítulo, o método de análise sistemática de literatura, que reuniu estudos relevantes sobre a questão de pesquisa formulada, para a composição do referencial bibliográfico. É apresentado também neste capítulo a construção da estrutura conceitual para a avaliação de prontidão de PMEs para a I4.0.

3.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa pode ser caracterizada quanto a sua natureza, como uma pesquisa aplicada, pois tem seu vínculo à resolução de um problema.

Quanto aos objetivos ou seus propósitos é possível caracterizar esta pesquisa como exploratória, pois busca a revisar a literatura existente sobre o tema, identificar fatores e estruturar de etapas para avaliar a prontidão de PMEs para a Quarta Revolução Industrial.

Por se tratar de uma pesquisa que tenta compreender um problema social e responder uma questão, é possível caracterizá-la como qualitativa, pois Creswell (2010) diz que através da pesquisa qualitativa é possível compreender um problema social ou humano.

Quanto aos procedimentos na coleta de dados esta pesquisa pode ser caracterizada como pesquisa bibliográfica, pois está de acordo com o que diz Almeida (2014) este tipo de estudo toma como objeto livros e artigos científicos, tendo normalmente a finalidade de buscar relações entre conceitos, características e ideias, às vezes unindo dois ou mais temas. E quanto a operacionalização e análise dos dados a técnica a ser utilizada nesta pesquisa é a análise de conteúdo, descrita por Badin (2011) como sendo um conjunto de técnicas de análise sobre um tema, visando obter através de procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição de conteúdo, permitindo efetuar deduções lógicas e justificadas, referentes à origem das mensagens do conteúdo.

3.2 Metodologia para a construção do portfólio bibliográfico

Para compor o capítulo 2, que trata do referencial teórico desta pesquisa e também o capítulo 4 que trata da construção do modelo de avaliação de preparação de PMEs para a I4.0, foi necessário fazer uma revisão de literatura, detalhada a seguir.

Para a busca e avaliação dos artigos que compõem este trabalho foi utilizado a metodologia de revisão de literatura *Methodi Ordinatio* de Pagani, Kovaleski e Resende (2015), devido a esta metodologia possibilitar eleger sistematicamente a literatura mais relevante sobre a questão investigada. Para análise do conteúdo uma análise quantitativa acumulou a frequência dos principais temas tratados nos artigos selecionados, esses temas podem ser observados no apêndice B e D.

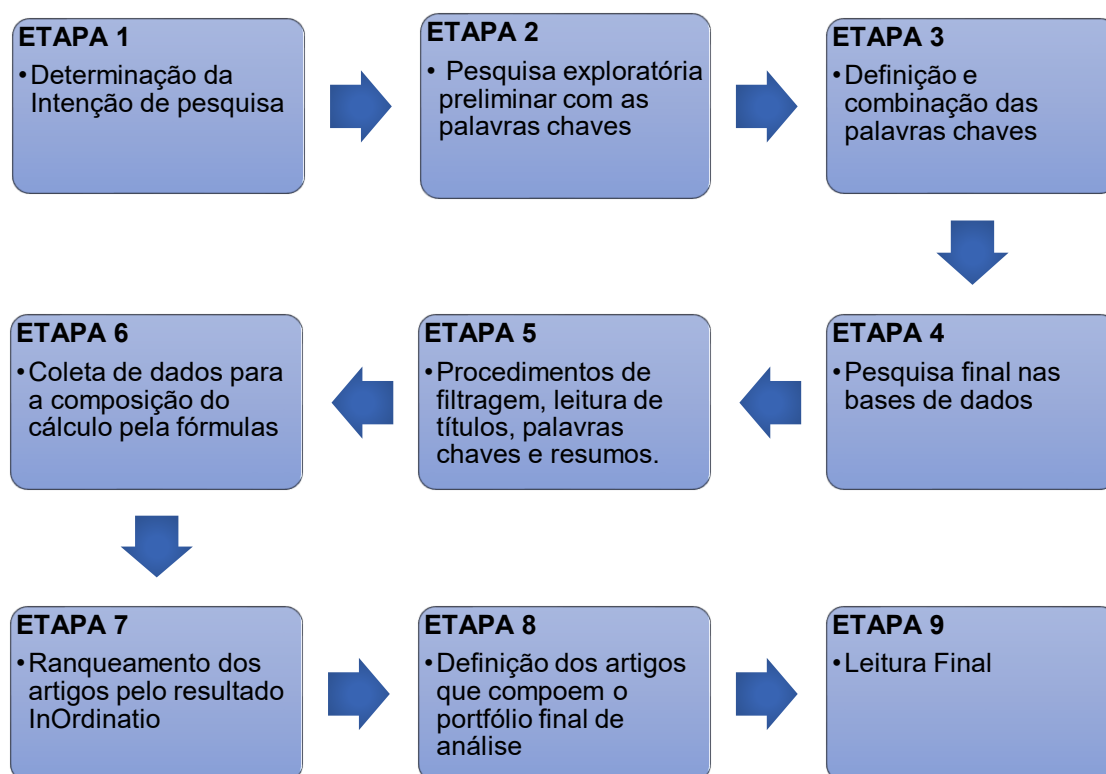
A composição final do *portfólio* de artigos deste trabalho é resultado de uma pesquisa realizada em duas etapas, a etapa 1 descrita como inicial, com caráter exploratória sobre o tema I4.0 e PMEs, e a etapa 2, descrita como pesquisa específica, onde é realizado o aprofundamento da pesquisa sobre modelos de avaliação de prontidão e maturidade para a I4.0 específico para avaliar PMEs.

3.2.1 Pesquisa bibliográfica inicial

Para Fink (2008) e Bardin (2011) o processo de revisão sistemática de literatura deve ser resultado de uma questão inicial. Assim a pesquisa bibliográfica inicial ocorreu com a intenção de explorar o tema I4.0 específico para PMEs e a questão que norteou a pesquisa a inicial foi: Como o conceito I4.0 tem sido estudado especificamente no campo das PMEs?

A pesquisa bibliográfica inicial cumpriu as etapas da metodologia *Methodi Ordinatio* de Pagani, Kovaleski e Resende (2015), as etapas seguidas no trabalho, orientadas através da metodologia podem ser observadas na figura 2.

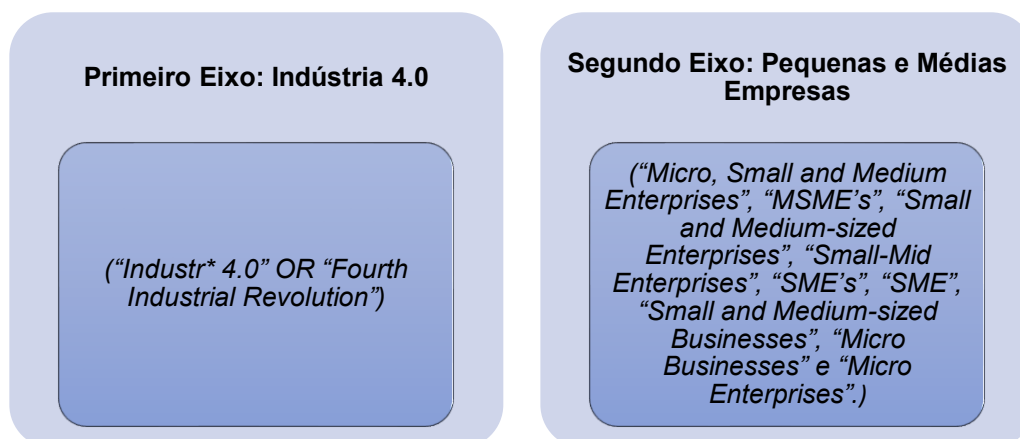
Figura 2 - Etapas para seleção dos artigos



Fonte: Adaptado de de Pagani, Kovaleski e Resende (2015)

A definição dos eixos para a pesquisa inicial é resultado da questão inicial de pesquisa, assim foi estabelecido dois eixos de pesquisa, I4.0 e PMEs. uma pesquisa preliminar com as palavras-chave com o título dos eixos, resultou na definição final das palavras-chaves desta pesquisa inicial. O primeiro eixo determinado foi **Quarta Revolução Industrial e Indústria 4.0**, e a variante de grafia, “*Industrie 4.0*”. Um segundo eixo foi estabelecido para o tema **PMEs** com as seguintes variações de palavras: “*Micro, Small and Medium Enterprises*”, “*MSME’s*”, “*Small and Medium-sized Enterprises*”, “*Small-Mid Enterprises*”, “*SME’s*”, “*SME*”, “*Small and Medium-sized Businesses*”, “*Micro Businesses*” e “*Micro Enterprises*”. A Figura 3 apresenta as palavras-chave selecionados para cada eixo de pesquisa.

Figura 3 - Palavras-chave selecionadas por eixo



Fonte: Autoria própria (2021)

Os artigos utilizados na pesquisa inicial para esse estudo foram encontrados nos bancos de dados das bases *Web of Science* e *Scopus*. A escolha dessas bases de dados se deu pelo volume e características das revistas pertencentes às mesmas, apropriadas à área de engenharia de produção.

Na busca foram utilizados os Índices Boleanos "AND" para a busca entre os eixos e "OR" entre termos de busca de mesmo eixo, ou seja, entre as combinações das palavras. Estes operadores mostram apenas trabalhos que tenham pelo menos uma palavra-chave de cada eixo, restringindo a pesquisa.

Para refinar os resultados, foram atribuídos filtros, como "Periódicos artigos e Artigos de Revisão", "Idioma inglês". Por se tratar de um tema emergente não foi estabelecida janela temporal. A pesquisa foi realizada pela seguinte estratégia de busca: ("Industr* 4.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Smart manufacturing") AND ("Micro, Small and Medium Enterprises" OR "MSME's" OR "Small and Medium-sized Enterprises" OR "Small-Mid Enterprises" OR "SME's" OR "SME" OR "Small and Medium-sized Businesses" OR "Micro Businesses" OR "Micro Enterprises") e a mesma foi realizada em: título, resumo e palavras-chave. A pesquisa foi realizada em agosto de 2021 e os resultados são apresentados no quadro 5.

Quadro 5 - Combinação de palavras de busca e quantidade de estudos encontrados

BASE DE DADOS	Número de artigos	
Scopus	(+)	622

<i>Web of Science</i>		367
Total obtido nas bases de dados		989
Duplicados	(-)	345
Sem informação	(-)	12
Total		632
Exclusão após a leitura de título e palavras chave		75
Exclusão após a leitura de resumos	(-)	156
Total de artigos – portfolio final		401

Fonte: Autoria própria (2021)

O total de artigos capturados na pesquisa nas bases de dados foram 989 artigos, as referências foram gerenciadas pelo *Software Mendeley* e 345 duplicatas foram descartadas e 12 referências que não continham título ou nome de autores foram excluídas. Restaram 632 artigos, para estes foram aplicados os seguintes critérios de seleção: leitura de títulos e palavras chaves, com a exclusão de 75 artigos, a sigla SME correspondente a *Small-Mid Enterprises* trouxe como resultado artigos que possuíam a sigla SME correspondente a *Society of Manufacturing Engineers*, o que ocasionou a maior parte das exclusões por título e palavras-chave, e após a leitura dos resumos foram excluídos 156, sendo selecionados apenas os artigos alinhados com a pesquisa, ou seja, artigos que tratassem do tema Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 no contexto específico de PMEs, finalizando um total de 401 artigos.

A fase seguinte conforme a metodologia de Pagani, Kovaleski e Resende (2015) foram identificados o número de Citações (Ci) e o Fator de Impacto (Fi) do periódico de cada artigo, o fator de impacto selecionada para atribuir a importância ao periódico foi o JCR (Journal Citation Reports), se a publicação não apresenta nenhuma dessas métricas, o valor atribuído a Ci e Fi foi zero. A coleta do número de citações Google Scholar em 14 de agosto 2021, e o ano de publicação foi coletada na própria referência do artigo.

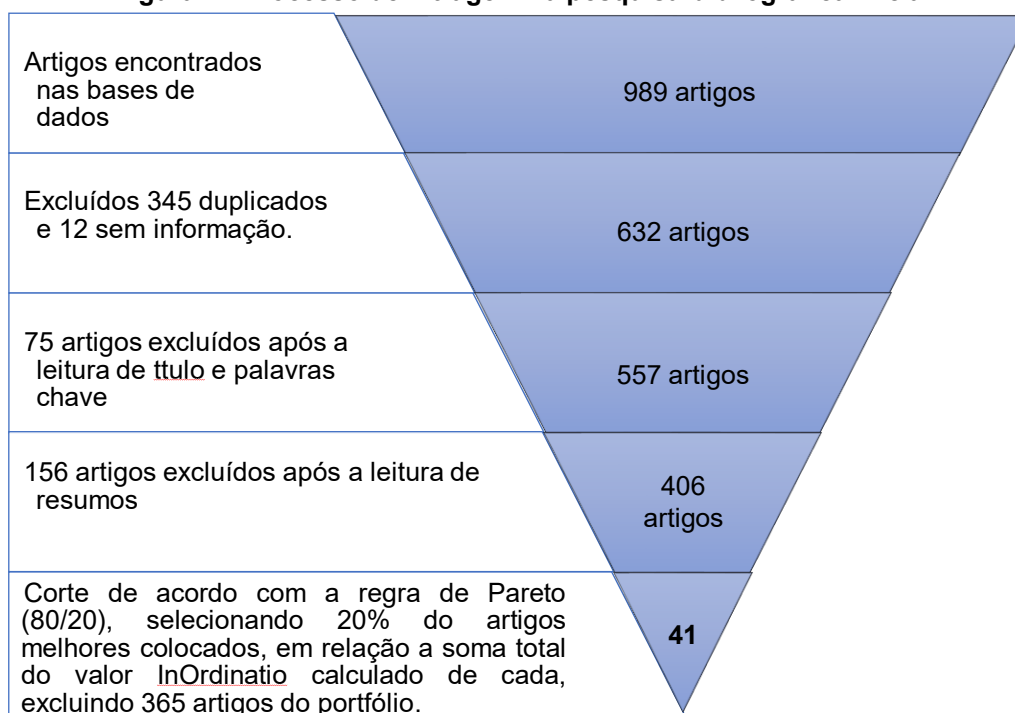
Na sequência os artigos foram ordenados de acordo com sua relevância científica pelo InOrdinatio, descrito na metodologia de Pagani, Kovaleski e Resende (2015) e (2018). Devido ao grande número de referências que compunham o portfólio, foi necessário um corte no número das mesmas. De acordo Pagani,

Kovaleski e Resende (2018) o pesquisador pode atribuir critérios pessoais a fim de determinar o número de corte de quantos artigos serão lidos.

Tendo em vista que as referências se encontravam em ordem de relevância o corte foi realizado de acordo com a princípio de Pareto (80/20), de acordo com princípio, 80% dos efeitos ou resultados são oriundos de 20% das causas, possibilitando assim identificar e focar nas principais causas, no caso desta pesquisa, nas referências que podem gerar um melhor resultado da pesquisa.

Assim 41 artigos melhores colocados, que representavam 20% em relação a soma total do valor *InOrdinatio* calculado de cada artigo, foram selecionados para a leitura integral e compuseram o portfólio de leitura dessa pesquisa. A figura 4 apresenta os procedimentos de filtragem dos artigos da pesquisa inicial.

Figura 4 - Processo de filtragem na pesquisa bibliográfica inicial



Fonte: Autoria própria (2021)

A relação dos artigos constituintes do portfólio de leitura desta pesquisa bibliográfica inicial, encontram-se no apêndice A deste trabalho. Os artigos apresentam-se ranqueados em ordem crescente pelo índice *InOrdinatio* de Pagani, Kovaleski e Resende (2015), organizados por nome dos autores, título, ano de publicação e periódicos em que os artigos selecionados foram publicados.

Com o portfólio de artigos selecionados, o passo seguinte foi a busca integral dos 41 artigos de maior relevância científica identificados inicialmente e posterior leitura. Após a leitura a análise do conteúdo é iniciada pela identificação e posterior discussão dos objetivos e procedimentos metodológicos das obras.

A descrição dos objetivos e procedimentos metodológicos dos artigos encontram-se no apêndice B deste trabalho. Esses artigos foram organizados em temas de acordo com seus objetivos procedimentos metodológicos a apresentados no quadro 6.

Quadro 6 - Identificação dos temas da pesquisa inicial

Temas	Número de artigos
Influenciadores na adoção de tecnologias em PMEs	20
Modelos de Maturidade e Prontidão e Consciência para indústria 4.0 em PMEs	9
Inovação e ecossistemas inovadores de modelos de negócios	5
Roteiros para Implantação de tecnologias da Indústria 4.0 em PMEs	4
Desenvolvimento de trabalhadores para a Indústria 4.0 em PMEs	2
Estudos com tecnologias específicas em PMEs	1
Total de artigos encontrados	41

Fonte: Autoria própria (2021)

Como o primeiro tema mais evidentes nas pesquisas foi relacionado a fatores influenciadores da adoção de tecnologias da I4.0 em PMEs, tais como benefícios, oportunidades e desafios ou obstáculos, os artigos que tratavam deste tema foram selecionados para uma identificação desses influenciadores. Uma lista dos artigos com a identificação desses influenciadores encontra-se no Apêndice D deste trabalho.

O segundo tema mais evidente nas pesquisas está intimamente ligado ao tema desta dissertação, no entanto ainda permaneciam insuficientes para a construção de um amparo teórico para a pesquisa. Assim, percebeu-se a necessidade de uma pesquisa aprofundada e específica sobre modelos, estruturas e ferramentas da I4.0 construídos especificamente para avaliar PMEs.

3.2.2 Pesquisa bibliográfica específica

Esta segunda pesquisa, é chamada de pesquisa específica em virtude de estar focada em ferramentas de avaliação de prontidão e maturidade. Esta

pesquisa também cumpriu as etapas da metodologia *Methodi Ordinatio* de Pagani, Kovaleski e Resende (2015), conforme já descrito.

A determinação dos eixos e das palavras-chave desta pesquisa foi amparada na pesquisa bibliográfica inicial, que ocorreu de seguinte forma. As referências dos 401 artigos que compunham o portfólio final, conforme descrito na tabela 5 foram exportados e tratados no *Software VOSviewer*, que apontou a existência total de 1763 palavras chaves determinadas pelos autores. A ocorrência das 11 palavras chave mais citadas são apresentadas na figura 5.

Figura 5 - Palavras chave mais citadas pelo Software VOSviewer

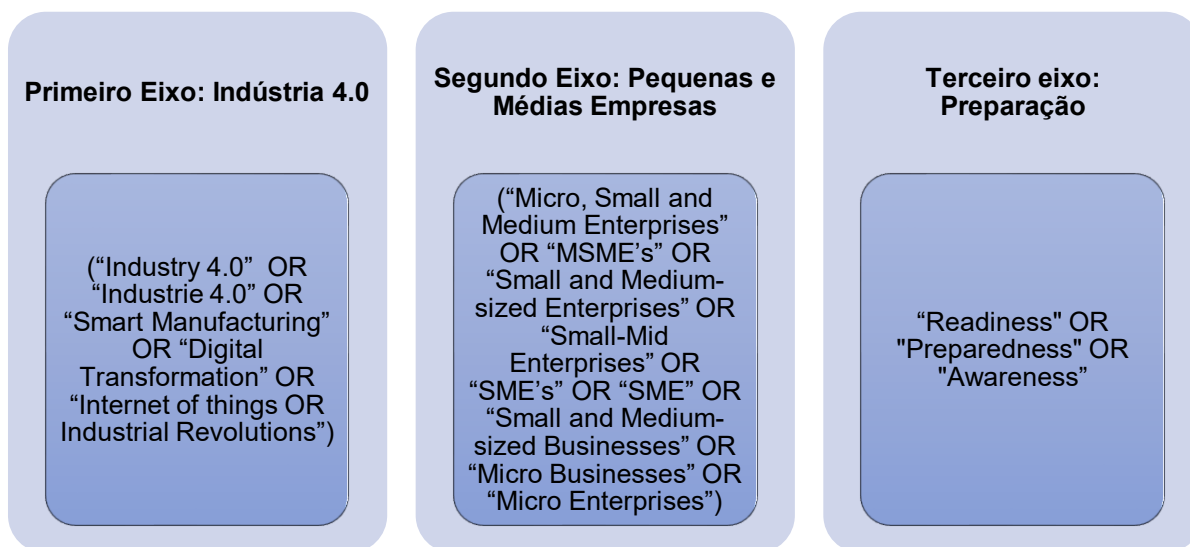
Selected	Keyword	Occurrences
<input checked="" type="checkbox"/>	industry 4.0	214
<input checked="" type="checkbox"/>	sme	99
<input checked="" type="checkbox"/>	small and medium enterprise	37
<input checked="" type="checkbox"/>	industrial revolutions	27
<input checked="" type="checkbox"/>	digital transformation	35
<input checked="" type="checkbox"/>	internet of things	25
<input checked="" type="checkbox"/>	manufacture	26
<input checked="" type="checkbox"/>	smart manufacturing	23
<input checked="" type="checkbox"/>	industrial research	19
<input checked="" type="checkbox"/>	competition	21
<input checked="" type="checkbox"/>	small and medium-sized enterprise	19

Fonte: Autoria própria (2021)

A definição e combinação das palavras-chave desta segunda pesquisa foi estabelecida de acordo com a ocorrência das palavras chaves da pesquisa inicial. O primeiro eixo determinado da pesquisa foi "*Fourth Industrial Revolution*", com as variantes de grafia, "*Industry 4.0*" e "*Industrie 4.0*", e os termos "*Smart Manufacturing*", "*Digital Transformation*", "*Internet of things*" e "*Industrial Revolutions*". Um segundo eixo foi estabelecido para o tema PMEs com as seguintes variações de palavras: "*Micro, Small and Medium Enterprises*", "*MSME's*", "*Small and Medium-sized Enterprises*", "*Small-Mid Enterprises*", "*SME's*", "*SME*", "*Small and Medium-sized Businesses*", "*Micro Businesses*" e "*Micro Enterprises*". Um terceiro eixo foi composto para pesquisa do termo preparação, com os termos "*Readiness, Preparedness e Awareness*", este terceiro

eixo teve o objetivo de buscar publicações mais específicas e alinhadas com o tema da pesquisa. A composição dos eixos de pesquisa é demonstrada na figura 6.

Figura 6 - Composição dos eixos de pesquisa bibliográfica específica



Fonte: Autoria própria (2021)

A pesquisa foi realizada nas bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*. A escolha de uma terceira base de dados, com as mesmas características das anteriores, se deu em virtude da necessidade de se buscar o máximo de publicações possíveis, já que o tema se mostrou em desenvolvimento.

Igualmente a pesquisa anterior, nas buscas foram utilizados os Índices Booleanos "AND" para a busca entre os eixos e "OR" entre termos de busca de mesmo eixo, ou seja, entre as combinações das palavras. Para refinar os resultados, foram atribuídos filtros, como "Periódicos artigos e artigos de revisão", "idioma inglês". Igualmente a pesquisa inicial não foi definido a janela temporal de busca. A pesquisa foi realizada em outubro de 2021.

A segunda pesquisa capturou 708 artigos nas bases, suas referências foram gerenciadas pelo *Software Mendeley* e 113 foram excluídos por duplicidade, a primeira leitura realizada foi o título das obras e 8 foram excluídos por não conterem título. A próxima leitura realizada foram as palavras chaves, 175 artigos foram excluídos em virtude de não apresentarem palavras chaves dos ambos os eixos 1 e 2 da pesquisa, sendo o critério de exclusão necessidade de encaixe nos dois eixos de pesquisa (Indústria 4.0 e PME). É possível visualizar a composição

das buscas e números de artigos encontrados, assim como os critérios de exclusão dos artigos na tabela 5.

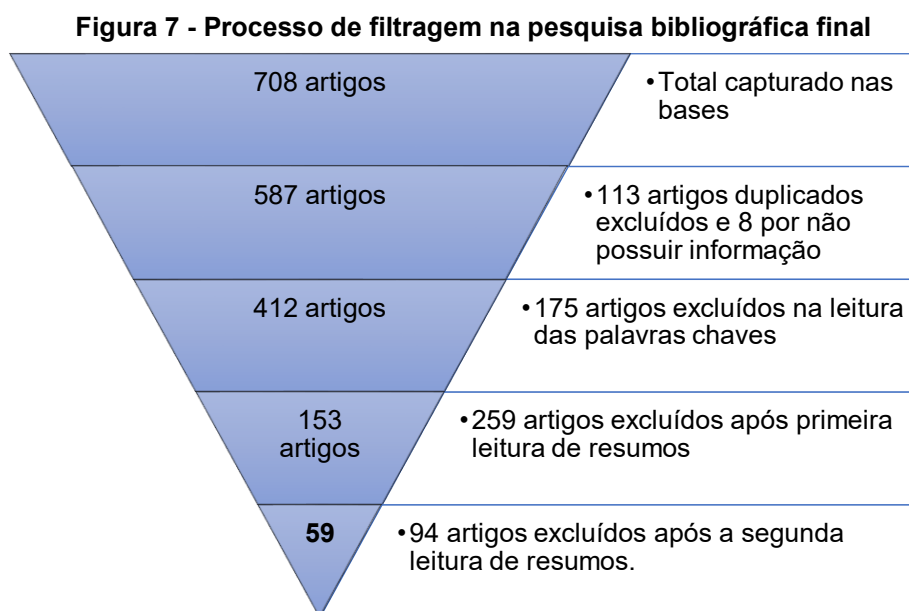
Tabela 5 - Estratégia de busca e seleção dos artigos

Palavras de Busca	Scopus	Science Direct	Web of Science	Total
<i>(Readiness OR Preparedness OR Awareness) AND (“Industr* 4.0” OR “Fourth Industrial Revolution” OR “smart manufacturing” OR “digital transformation” OR “Internet of things” OR “Industrial Revolutions”) AND (“Micro, Small and Medium Enterprises” OR “MSME’s”)</i>	4	32	3	
<i>(Readiness OR Preparedness OR awareness) AND (“Industr* 4.0” OR “Fourth Industrial Revolution” OR “smart manufacturing” OR “digital transformation” OR “Internet of things” OR “Industrial Revolutions”) AND (“Small and Medium-sized Enterprises” OR “Small-Mid Enterprises” OR “SME’s” OR “SME”)</i>	110	418	55	
<i>(Readiness OR Preparedness OR Awareness) AND (“Industr* 4.0” OR “Fourth Industrial Revolution” OR “smart manufacturing” OR “digital transformation” OR “Internet of things” OR “Industrial Revolutions”) AND “Small and Medium-sized Businesses”</i>	1	33	3	
<i>(Readiness OR Preparedness OR awareness) AND (“Industr* 4.0” OR “Fourth Industrial Revolution” OR “smart manufacturing” OR “digital transformation” OR “Internet of things” OR “Industrial Revolutions”) AND (“Micro Businesses” OR “Micro Enterprises”)</i>	1	48	0	
Total encontrados	116	531	61	708
Exportados para base	102	469	24	595
Total de artigos capturados				708
Exclusão por duplicados				113
Exclusão por não conter dados(título/autor/ano)				8
Exclusão por título e palavras chaves: com o critério da necessidade de encaixe nos eixos 1 e 2 (Indústria 4.0 e PME)				175
Restante				412
Leitura de resumos, exclusão de artigos que não apresentassem modelos de maturidade prontidão preparação ou consciência, barreiras, impulsionadores e oportunidades da implantação da indústria 4.0 em PMEs.				259
Total de Artigos				153
Exclusão após a segunda leitura dos resumos, excluindo artigos que não apresentasse o tema modelos de maturidade e prontidão para PMEs				94
Total de artigos que tinham como tema modelos de maturidade e prontidão para PMEs				59

Fonte: Autoria própria (2021)

O passo seguinte foi a leitura dos resumos, sendo 259 artigos excluídos nessa etapa, pois estavam fora do escopo desejado. O restante 153 artigos

passaram por uma segunda leitura de resumos, realizada para selecionar somente artigos que apresentassem o tema modelos de maturidade e prontidão para PMEs, então 94 artigos foram excluídos. Assim compõem o portfólio de leitura integral 59 artigos. Os artigos desta segunda pesquisa não foram ordenados de acordo com o índice *InOrdinatio*, em virtude de todos os artigos serem considerados necessários para a leitura. O processo de filtragem está apresentado na figura 7.



Fonte: Autoria própria (2021)

Uma lista com a identificação dos 59 artigos está apresentada no anexo C deste trabalho, organizada por ano de publicação, iniciando com os mais antigos e seguindo para os mais recentes publicados.

A etapa final desta segunda pesquisa foi a busca integral dos artigos com posterior leitura. Dos 59 artigos que tratavam especificamente de maturidade prontidão ou consciência pra a indústria 4.0 em PMES.

Nos 59 artigos, foram encontrados 23 modelos teóricos de maturidade e prontidão, construídos especificamente para avaliar transformação digital específicos para PMEs que estão presentes no referencial teórico deste trabalho, e sintetizados no quadro 4. Os modelos que não relatavam especificidade para a aplicação em PMEs ou que não foram construídos para PMEs não foram incluídos na seleção. Cada modelo foi apresentado e discutido no referencial teórico.

O objetivo apresentado nos modelos foi critério de seleção de tais modelos, juntamente com o critério da especificidade de avaliar PMEs, então modelos que

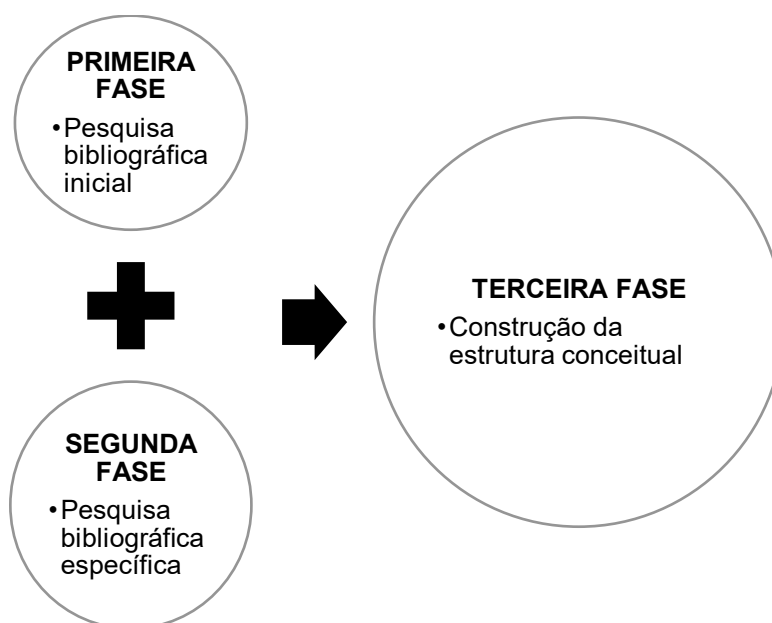
não relatavam especificidade para a aplicação em PMEs ou que não foram construídos para PMEs não foram incluídos na seleção. Todos os 23 modelos foram apresentados no referencial teórico na sessão 2.5.

3.3 Construção da estrutura conceitual para avaliação de prontidão de PMEs

A composição da pesquisa bibliográfica para a construção do modelo foi configurada conforme apresentado na figura 8. Na primeira fase, realizamos uma revisão da literatura inicial (3.3.1) onde através da análise desse conteúdo foram identificados os principais desafios que as PMEs apresentam em relação a I4.0 e as características que as PMEs podem apresentar que geram esses desafios em relação transformação digital ou I4.0.

Posteriormente uma segunda revisão (3.2.2) foi realizada para identificar modelos de avaliação já existentes específicos para PMEs e a última fase foi composta pela construção e proposição de uma estrutura conceitual para avaliar a prontidão das PMEs para a transformação digital com base nos desafios e características que essas empresas possuem. A figura 8 apresenta a composição para a construção da estrutura conceitual.

Figura 8 – Composição da construção da estrutura conceitual



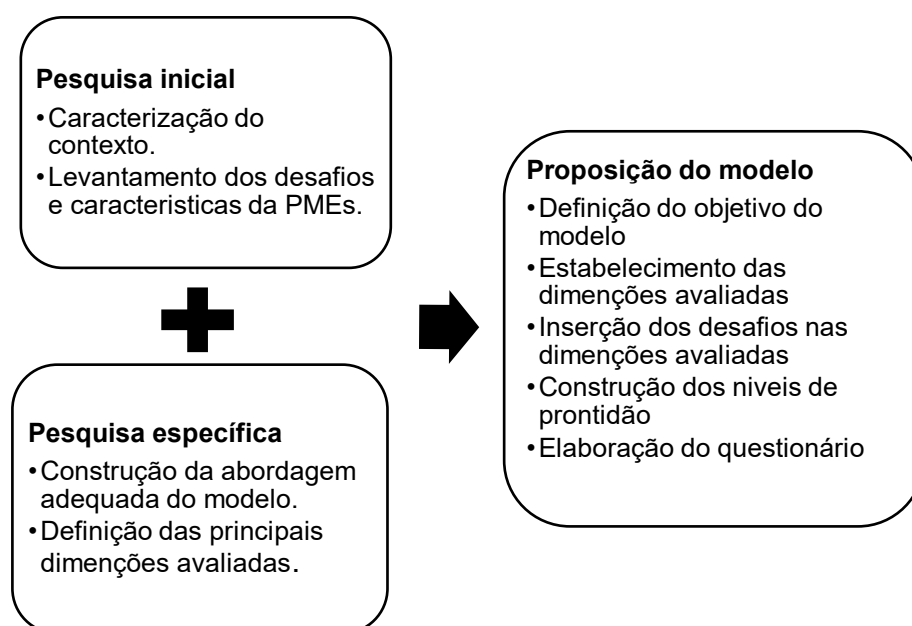
Fonte: Autoria própria (2021)

O modelo proposto é específico para avaliar a prontidão das PMEs em relação a transformação para I4.0, pois se caracteriza conforme o Jesus e Lima (2020) afirmam, que para a construção de modelos de avaliação para a I4.0 específicos para avaliar PMEs etapas importantes devem ser cumpridas como: caracterização do contexto de aplicação com uma revisão de literatura, desenvolvimento de pesquisa qualitativa e posterior aplicação prática no campo específico do modelo.

Para Amaral, Jorge e Peças (2019) antes de desenvolver um modelo teórico e seu subsequente questionário adaptado às PMEs, deve-se realizar um levantamento dos modelos já existentes na literatura e quais os principais obstáculos deste tipo de empresa. Somente assim é possível ter uma ideia das lutas que estas empresas têm ao abordar este conceito, e assim criar um modelo de maturidade mais adequado para elas.

Assim, a composição das dimensões se deu através do levantamento bibliográfico, onde foi possível identificar nos modelos de prontidão e maturidade as dimensões específicas para PMEs e os itens avaliados propostos são oriundos da pesquisa inicial que são os desafios que as PMEs enfrentam para a transformação digital a construção pode ser visualizada na figura 9.

Figura 9 - Construção do modelo teórico



Fonte: Autoria própria (2021)

Os últimos passos para a construção do modelo proposto foram: a estruturação dos níveis e a elaboração do questionário. Os modelos de avaliação de prontidão em geral utilizam tais níveis para expressar o progresso de prontidão para implantação da I4.0 na empresa estudada e os questionários são utilizados para coletar informações nas empresas avaliadas (RAUCH *et al.* 2020).

A mesma abordagem foi utilizada no modelo de avaliação proposto com relação mais específica dos desafios ou obstáculos enfrentados para pelas PMEs no processo de transformação digital. Cada nível proposto é relacionado como a quantidade de desafios que a empresa está enfrentando ou enfrentará no processo de transformação para a I4.0.

As informações serão coletadas nas PMEs através de um questionário, as questões deverão ser respondidas pelo gestor ou proprietário e são oriundas dos itens avaliados propostos, que são os desafios que as PMEs enfrentam para a transformação digital.

Assim é possível avaliar a prontidão para a I4.0, através de um conjunto de afirmações referente aos desafios para a transformação digital, onde se pede ao gestor percepções e atitudes em relação a sua situação atual ao desafio apresentado. A ferramenta é construída de forma a auxiliar as PMEs a entenderem e visualizarem sua posição em relação aos desafios apresentados a elas.

3.4. Teste do modelo proposto

O modelo proposto foi testado em uma PME localizada na cidade de Castro – Paraná. A empresa selecionada para o teste de aplicação do questionário é uma prestadora de serviços, que produz e comercializa cursos especializados para motoristas profissionais, no formato a distância, homologada pela SENATRAN (Secretaria Nacional de Trânsito) e também oferece cursos livres na área de trânsito. O questionário foi aplicado a um dos proprietários da empresa.

Esta empresa recentemente migrou seus serviços do formato presencial, de atuação local, para o formato de ensino a distância, com abrangência nacional. E está atuando com modelo de negócio em formato de plataforma, sendo produtora e detentora do software próprio, em sua plataforma atualmente possui cadastrados 4 produtores de cursos e 450 empresas afiliadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo traz os resultados referente a análise do conteúdo do portfólio dos artigos selecionados na pesquisa inicial (3.2.1) e análise dos modelos de maturidade e prontidão específicos para avaliar PMEs encontrados na pesquisa bibliográfica específica (3.2.3) modelos estes apresentados e discutidos no capítulo de referencial teórico, descritos na sessão 2.5 e 2.6.

4.1 Resultados da análise de conteúdo da pesquisa inicial

Com a leitura dos artigos da pesquisa inicial foi possível identificar os caminhos que estão sendo utilizados pelos pesquisadores com relação à pesquisa da I4.0 em PMES, isso foi possível através da identificação dos procedimentos metodológicos dos artigos selecionados.

Com relação aos procedimentos metodológicos que os artigos apresentam é possível identificar um destaque no estudo de caso múltiplo e exploratórios em PMEs, formando a maioria dos procedimentos metodológicos, que são encontrados nos trabalhos por: Muller *et al.* (2018), Horváth e Szabó (2019), Haseeb *et al.* (2019), Ganzarain e Errasti (2016), Müller e Voigt (2018), Stentoft *et al.* (2020), Goerzig e Bauernhansl (2018), Müller (2019), Benitez, *et al.* (2020), Turkes *et al.* (2019), Ghobakhloo e Ching (2019), Mittal *et al.* (2020), Kamble *et al.* (2020), Neirotti *et al.* (2018), Ingaldi e Ulewicz (2020) e Li *et al.* (2019).

Em 10 artigos são apresentados revisão de literatura e pesquisa com especialistas, que são as obras de Moeuf *et al.* (2018), Mittal *et al.* (2018), Sommer (2018), Zambon *et al.* (2019), Birkel *et al.* (2019), Masood e Sonntag (2020), Matt *et al.* (2020), Kamble *et al.* (2020), Kumar *et al.* (2020), Hansen e Bogh (2021), Ingaldi e Ulewicz (2020) e Li *et al.* (2019).

O principal tema tratado nos artigos diz respeito aos influenciadores da adoção ou implementação de tecnologias, apontados como: barreiras, problemas, dificuldades, riscos, necessidades ou requisitos, assim como foram amplamente apresentados os fatores críticos de sucesso, e temas como forças motrizes, motivadores, desafios, oportunidades ou características das PMEs favoráveis para implementação da Indústria 4.0. Esses influenciadores já foram discutidos no capítulo 2 desse trabalho.

O segundo tema identificado nesta pesquisa inicial é com relação preparação das PMEs em relação a I4.0, ferramentas de avaliação atual, ou consciência, prontidão e maturidade.

Foi possível comparar e perceber que os resultados encontrados nesta pesquisa inicial são semelhantes com os resultados de Matt e Rauch (2020) que analisaram o estado da arte do tema I4.0 e PMEs. Matt e Rauch (2020) afirmam que muitos autores trabalham com os desafios que as PMEs enfrentarão com I4.0 seguido da pesquisa de como tirar proveito com os benefícios da I4.0 na manutenção e continuidade dos negócios. Matt e Rauch (2020) afirmam que a literatura vem trabalhando em modelos de prontidão ou avaliação de maturidade para ajudar as PMEs a entender situação real que se encontram as PMEs com relação a I4.0 e existe um pequeno número de trabalhos com estruturas, conjuntos de ferramentas, assim como roteiros para orientar as PMEs na implementação da I4.0.

Matt e Rauch (2020) ainda observam tema I4.0 não é de exclusividade de PMEs industriais, ele é crescente para outras PMEs, pois segundo os autores muitos trabalhos estão apresentando modelos de negócios inovadores e digitais, colocando também as PMEs como participantes através de plataformas digitais.

Foi possível identificar nesta pesquisa uma escassez de estudos relacionados ao tema proposto. Os resultados encontrados na literatura identificada neste trabalho estão de acordo com os resultados de Masood e Sonntag (2020) que identificaram na revisão sistemática de literatura que os benefícios do I4.0 para PMEs estão significativamente desenvolvidos, assim como as barreiras para a implantação também estão sendo estudadas. No entanto há apenas uma pequena quantidade de trabalho com foco na implementação do I4.0, modelos de prontidão ou maturidade específicos para PMEs, havendo nestes temas uma desconexão entre os estudos atuais da I4.0 e o necessidades características das PMEs. Os modelos, estruturas e ferramentas da I4.0 mais estabelecidos são desenvolvidos para, ou por, empresas maiores (HORVATH; SZABO, 2019; MASOOD; SONNTAG; 2020; MITTAL *et al.*, 2018).

4.2 Resultados da análise de conteúdo da pesquisa específica

No portfólio total de 59 artigos encontrados na pesquisa específica, 23 modelos teóricos de maturidade e prontidão construídos especificamente para avaliar transformação digital específicos para PMEs foram identificados, uma visão geral desses modelos foi apresentada na sessão 2.6. do referencial teórico.

4.2.1 Elementos que compõem um modelo específico pra avaliar transformação digital em PMEs

Na busca por identificar os principais elementos que devem compor um modelo específico pra avaliar PMEs para a transformação digital ou I4.0, foram encontrados nos modelos de maturidade e prontidão da I4.0 construídos especificamente para PMEs, os seguintes apontamentos em relação a abordagem e foco com relação a especificidade da aplicação em PMEs. Assim foi possível identificar três grupos de modelos teóricos apresentados.

Um grupo de modelos teóricos foram desenvolvidos com foco nas características que um modelo precisa apresentar para ser específico pra PMEs, são os modelos de Axmann e Harmoko (2020), Pirola, Cimini e Pinto (2020), Rafael *et al.* (2020) e Rauch *et al.* (2020).

Foram identificadas nos modelos de Axmann e Harmoko (2020), Pirola, Cimini e Pinto, 2020; Rafael *et al.* (2020) e Rauch *et al.* (2020) 9 características que uma ferramentas específica deve possuir que são: (1) granularidade nos níveis iniciais, (2) foco nas características e desafios para implantação da I4.0 em PMEs, (3) flexibilidade ou modularidade na avaliação, ou seja, na avaliação o modelo deve permitir excluir perguntas que não se apliquem ao contexto específico da PME avaliada, (4) o modelo proposto deve permitir a avaliação do estado atual da PME contribuindo para a criação de uma estratégia de implementação da I4.0 para PMEs, (5) confiabilidade, (6) referência acadêmica relacionado a aplicação prática do modelo em uma PME, (7) orientação para as características especiais para PMEs, (8) ser descrita como uma ferramenta online e de fácil aplicação, e (9) apresentar o objetivo de avaliar a I4.0.

Um grupo de modelos teóricos de maturidade e prontidão para I4.0, específicos para medir PMES, são eles, Brozzi *et al.* (2018), Mittal *et al.* (2018), Kolla, Minufekr e Plapper (2019), Trotta e Garengo (2019), Brozzi *et al.* (2020) Dutta *et al.* (2020), Amaral e Peças (2021), Saad, Bahadori e Jafarnejad (2021) e Yezhebay *et al.* (2021), tem seu foco na abordagem dos desafios que as PMEs

enfrentam para a transição digital em virtude de suas características juntamente com as dificuldades que enfrentam em relação as dimensões frequentemente utilizadas nas ferramentas de avaliação de maturidade ou prontidão para transformação digital. Esses modelos abordam características específicas das PMEs, que dão origem as necessidades ou desafios dessas empresas em relação a transformação para a I4.0. Esses desafios a serem superados são tratados como requisitos específicos a serem avaliados nos modelos específicos para PMEs.

Neste grupo os autores iniciam revisando a literatura existente para identificar as características de um PME ou entrevistando gestores de PMEs para identificar os principais desafios dessas empresas no processo. O início pode ocorrer com um trabalho de palestras e entrevistas explicativas sobre a avaliação, com gestores de PMEs sobre a I4.0. Com base nas características os autores identificam desafios nos modelos existentes na literatura, para apoiar a construção de um modelo específico para I4.0 em PMEs, assim os objetivos das ferramentas de autoavaliação são estabelecidos de acordo com os desafios que as PMEs enfrentam ao iniciar a transformação digital.

E o terceiro grupo, composto pelos modelos de Chonsawat e Sopadang (2020), Nick *et al.* (2020), Genest e Gamache (2020), Ottesjö *et al.* (2020) e Chaopaisarn e Woschank (2021) tem foco na definição de indicadores de capacidades essenciais ou pré-requisitos que capacitam para as PMEs transformação digital, aspectos da digitalização industrial e pilares para a transformação digital de PMEs. Segundo esses autores um PME deve ter uma grande capacidade de Rede de Internet, comunicação máquina-máquina, um sistema de segurança contra ataques cibernéticos, funcionários qualificados, acesso aos dados em tempo real através de sensores e recursos financeiros suficientes, valor, criação de valor e ecossistema *digital twin* e gestão de dados.

Assim a construção deste novo modelo está amparada em elementos encontradas na avaliação dos modelos, o modelo proposto tem seu foco na abordagem dos desafios que as PMEs enfrentam para a transição digital em virtude de suas características juntamente com as dificuldades que enfrentam em relação as dimensões frequentemente utilizadas nas ferramentas de avaliação de maturidade ou prontidão para transformação digital.

Este modelo em sua construção aborda as especificações dos pré-requisitos que uma ferramenta específica para avaliar PMES precisa ter, caracterizando-se assim como um modelo como específico para PMEs

4.2.2 Dimensões de avaliação nos modelos

No quadro 7 temos uma visão geral das dimensões de avaliação que os modelos 23 modelos teóricos de avaliação de prontidão e maturidade específicos para PMEs encontrados na literatura.

	Autores	Recursos humanos	Tecnologia	Produção	Produto	Estratégia	Dados	Organização	Software	Hardware	Digital twin	Indústria 4.0/Digitalização	Cliente	Planejamento/ Controle e execução	Operações	Processos	Serviços/ servitização	Infraestrutura	Integração vertical e horizontal	Ecosystema	Liderança	Cultura	Logística inteligente	Conhecimento	Financeira	Alianças	Colaboração	Fornecedores	Cadeia de valor	
16	Pirola, Cimini e Pinto (2020)	X	X			X									X				X											
17	Rafael <i>et al.</i> (2020)	X		X	X	X		X							X		X													
18	Rauch <i>et al.</i> (2020)	X	X					X							X							X								
19	Amaral e Peças (2021)	X	X	X	X	X		X								X														
20	Chaopaisarn e Woschank (2021)	X	X		X			X					X		X															
21	Saad, Bahadori e Jafarnejad (2021)				X		X		X																					
22	Saad, Bahadori e Jafarnejad (2021)						X							X																
23	Yezhebay <i>et al.</i> (2021)	X	X		X	X									X						X									
	Total	12	12	11	9	10	8	9	3	2	1	3	3	4	7	3	3	2	1	1	4	6	1	1	3	1	1	1	1	1

Fonte: Autoria própria (2021)

Com relação às dimensões avaliadas a Tabela 6 apresenta uma síntese de todas as dimensões identificadas nos modelos encontrados e apresentadas no quadro 4. No total 28 diferentes dimensões foram citadas, **Recursos Humanos e Tecnologia** são as dimensões mais avaliadas nos modelos estudados, seguida da dimensão **Produção**, na sequência temos **Estratégia**, seguida das dimensões **Produto, Organização, Dados, Operações, Cultura, Planejamento/Controle/Execução e Liderança**. Citadas em apenas três modelos temos as dimensões **Software, I4.0 ou Digitalização, Cliente, Processos, Serviços** e a dimensão **Financeira**. Com menos de 3 citações as foram encontradas as dimensões: **Hardware, Infraestrutura, Digital twin, Integração vertical e horizontal, Ecossistema, Logística inteligente, Conhecimento, Alianças, Colaboração, Fornecedores e Cadeia de valor**.

Tabela 6: Dimensões identificadas

Dimensão Citada	Número de vezes
Recursos humanos	12
Tecnologia	12
Produção	11
Estratégia	10
Produto	9
Organização	9
Dados	8
Operações	7
Cultura	6
Planejamento/Controle e execução	4
Liderança	4
Software	3
Indústria 4.0/Digitalização	3
Cliente	3
Processos	3
Serviços/servitização	3
Financeira	3
Hardware	2
Infraestrutura	2
Digital twin	1
Integração vertical e horizontal	1
Ecossistema	1
Logística inteligente	1
Conhecimento	1
Alianças	1
Colaboração	1

Fornecedores	1
Cadeia de valor	1

Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.3 Níveis

Apenas 10 modelos apresentaram, na avaliação do estado atual das PMES para a I4.0, as classificações que são chamadas de níveis. Com relação aos níveis as ferramentas avaliam e classificam em 5 níveis, com exceção do modelo de Brozzi *et al.* (2020), que classifica em 3 níveis e o modelo de Rafael *et al.* (2020) que classifica em 6 níveis. Poucos modelos fornecem uma descrição clara dos níveis. O quadro 8 apresenta os autores que nomeiam ou descrevem os níveis que o modelo avalia.

Quadro 8 - Níveis encontrados nos modelos

Autor	Níveis descritos					
Brozzi <i>et al.</i> (2018)	Tradicional	Recém Chegada ao Digital	Ambiciosa	Campeão Digital		
Sheen e Yang (2018)	Nível 1 Não está preparada	Nível 2 PME tem limitações	Nível 3 Preparada, mas tem algumas limitações	Nível 4 Preparada e estabelecida na maioria das áreas.	Nível 5 Estabelecida e executada todas as áreas	
Chonsawat e Sopadang (2019)	Nível 0: o item avaliado não é relevante em a PME.	Nível 1: o item, é relevante, mas não está implementada na organização.	Nível 2: o item foi implementado em alguma área da organização	Nível 3: o item foi implementado na maior parte das áreas da organização	Nível 4: o item foi totalmente implementado	
Brozzi <i>et al.</i> (2020)	Recém-chegados digitais (baixo nível digital).	Empresas em Transição (médio nível digital).	Top-Performer (alto nível digital)			
Genest e Gamache (2020)	Embrionária	Inicial	Primária	Intermediária	Avançada ou pronta	
Ottesjö <i>et al.</i> (2020)	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	
Pirola, Cimini e Pinto (2020)	Nível 1: A PME não possui iniciativas	Nível 2: PME em nível intermédio para iniciativas da Indústria 4.0	Nível 3: PME com estratégia formulada	Nível 4: PME que já implementou uma	Nível 5: PME que já implementou a sua estratégia	

			para a Indústria 4.0	estratégia da Indústria 4.0	para a Indústria 4.0 e monitora continuamente a sua implementação.	
Rafael <i>et al.</i> (2020)	Nível 0: forasteiro	O nível 1: iniciante	O nível 2: intermediário	Nível 3: experiente	Nível 4: especialista	Nível 5: <i>Top performers</i>
Chaopaisarn e Woschanek (2021)	Inicial	Processo indocumentado	Processo Repetível	Processo Gerenciado	Otimizado	
Yezhebaya <i>et al.</i> (2021)	Forasteira	Intermediária	Experiente	Especialista	Madura	

Fonte: Autoria própria (2021)

4.3 Construção do modelo teórico

Esta seção descreve como o modelo teórico foi construído de forma detalhada. Primeiramente a seção apresenta a definição do objetivo de avaliação do modelo, após são estabelecidas as dimensões de avaliação e inserção dos desafios nas dimensões avaliadas e por último é apresentado a construção dos níveis de prontidão para a I4.0 e elaboração do questionário.

4.3.1 Definição do objetivo do modelo

Este trabalho propõe um modelo de avaliação de prontidão para apoiar a jornada de PMEs para a I4.0. Com vista a identificar e mensurar os desafios que influenciam na adoção de tecnologias da I4.0. Assim a ferramenta é construída para auxiliar as PMEs a entenderem e visualizarem sua posição em relação aos desafios apresentados a elas.

Seguindo o requisito apontado na literatura que diz que em uma ferramenta específica para avaliar a I4.0 em PMEs o modelo deve estar adequado a realidade das PMEs, ou seja, apresentar as características e desafios destas empresas no processo de transformação para a I4.0 (AMARAL; PEÇAS, 2021; BROZZI *et al.*, 2018; DUTTA *et al.*, 2020; KOLLA; MINUFEKR E PLAPPER, 2019; RAFAEL *et al.*, 2020; TROTTA; GARENGO, 2019; YEZHEBAY *et al.*, 2021).

4.3.2 Estabelecimento das dimensões avaliadas e inserção dos desafios nas dimensões avaliadas

Nesta sessão é discutido a composição do modelo visualizado na figura 10, que é a estrutura proposta para avaliar a preparação das PMEs para a I4.0 com base em seus desafios.

A literatura estudada afirma que um modelo específico para avaliar PMEs deve avaliar dimensões ou capacidades que sejam relevantes pra essas empresas, alinhadas com suas características e desafios. Assim nessas dimensões podem ser identificados pontos de intervenção específicos para aumentar a sua prontidão, ou seja, os campos onde se precisa fazer intervenções necessárias para enfrentar os desafios, atingindo um nível de prontidão mais alto. (AMARAL; PEÇAS, 2021; AXMANN; HARMOKO, 2020; BROZZI *et al.*, 2018; NICK *et al.*, 2020; PIROLA; CIMINI; PINTO, 2020; RAFAEL *et al.*; 2020).

O modelo de avaliação proposto pode ser considerado específico para PMEs, pois aborda as características e os desafios que essas empresas apresentam em relação a transformação digital.

Os quatro eixos propostos, **Pessoas, Organização, Tecnologia e Estratégia** emergiram naturalmente da revisão bibliográfica, como se pode ver a partir dos quadros 2 e 3, e denotam capacidades que as pequenas e médias empresas devem construir. Assim, as PMEs têm os seguintes eixos-capacidade para o processo de transformação para a I4.0:

1) Pessoas: Este eixo avalia a capacidade de transformação da PME em recursos humanos, liderança e cultura. Os desafios relacionados a esta dimensão são: (1) falta de treinamento, (2) falta de cultura de mudança, (3) falta de apoio de especialista, (4) falta de incentivo para a mão de obra com competência e (5) falta de mão de obra especializada.

2) Organização: Este eixo avalia a capacidade organizacional da PME para a transformação digital, em produção, produto, operações, processos e planejamento, controle e execução. Os desafios relacionados a esta dimensão (6) características do gestor: falta de flexibilidade, resistência a mudança, falta de conhecimento, falta de consciência dos benefícios e rentabilidade, falta de atitude positiva em relação a transformação, falta de comunicação transparente, medo da transformação digital.

Também compõem esta dimensão os desafios da (7) falta de apoio externo especializado ao gestor; (8) falta de um líder 4.0 de transformação; (9) falta de padronização dos processos nas PMEs.

3) Tecnologia: Este eixo avalia a capacidade de transformação da PME em tecnologia, incluindo a digitalização, dados, software e hardware. Os desafios relacionados a esta dimensão são (10) falta de soluções menos complexas e específicas para PMEs, (11) falta de capacidade de armazenamento e exploração de dados, (12) falta de infraestrutura de software e hardware e (13) falta de compartilhamento de informações e (14) falta de atualização de maquinário de produção.

4) Estratégia: Este eixo dimensão avalia a capacidade estratégica, incluindo a capacidade de transformação financeira, cliente, serviços e infraestrutura. Os desafios relacionados a esta dimensão são: (15) falta de estratégia de longo prazo com um roteiro de transformação e (16) o tamanho da organização, (17) falta de recursos para investimento em inovação e pesquisa; (18) falta de recursos para a implantação de novas tecnologias; (19) falta de recursos para a manutenção e suporte técnico das tecnologias; (20) falta de recurso para treinamento; (21); falta de recurso já investido, (22) falta de financiamento, (23) incerteza com a rentabilidade, (24) alto custo das tecnologias, (25) falta de parcerias com entidades participantes do ambiente em que está inserida e (26) falta de cooperação com os parceiros do ambiente que está inserida.

Após a definição dos eixos-capacidade, avaliou-se a incorporação ao modelo das dimensões identificadas na literatura. A partir das 28 dimensões descritas no quadro 5 e listadas na tabela 8, definiu-se que seriam incorporadas ao modelo apenas as dimensões que tiveram ao menos duas citações em todo o portfólio analisado. Assim, passou-se a ter um universo de 19 dimensões, que foram agrupadas nos quatro eixos-capacidades já definidos, conforme descrito na tabela 7.

Tabela 7: Composição das dimensões avaliadas

Eixos	Dimensões	Número de citações
Pessoas	Recursos humanos	12
	Cultura	6
	Liderança	4

Organização	Produção	11
	Organização	9
	Produto	9
	Operações	7
	Planejamento/Controle e execução	4
	Processos	3
Tecnologia	Tecnologia	12
	Dados	8
	Indústria 4.0/Digitalização	3
	Software	3
	Hardware	2
Estratégia	Estratégia	10
	Financeira	3
	Cliente	3
	Serviços/servitização	3
	Infraestrutura	2

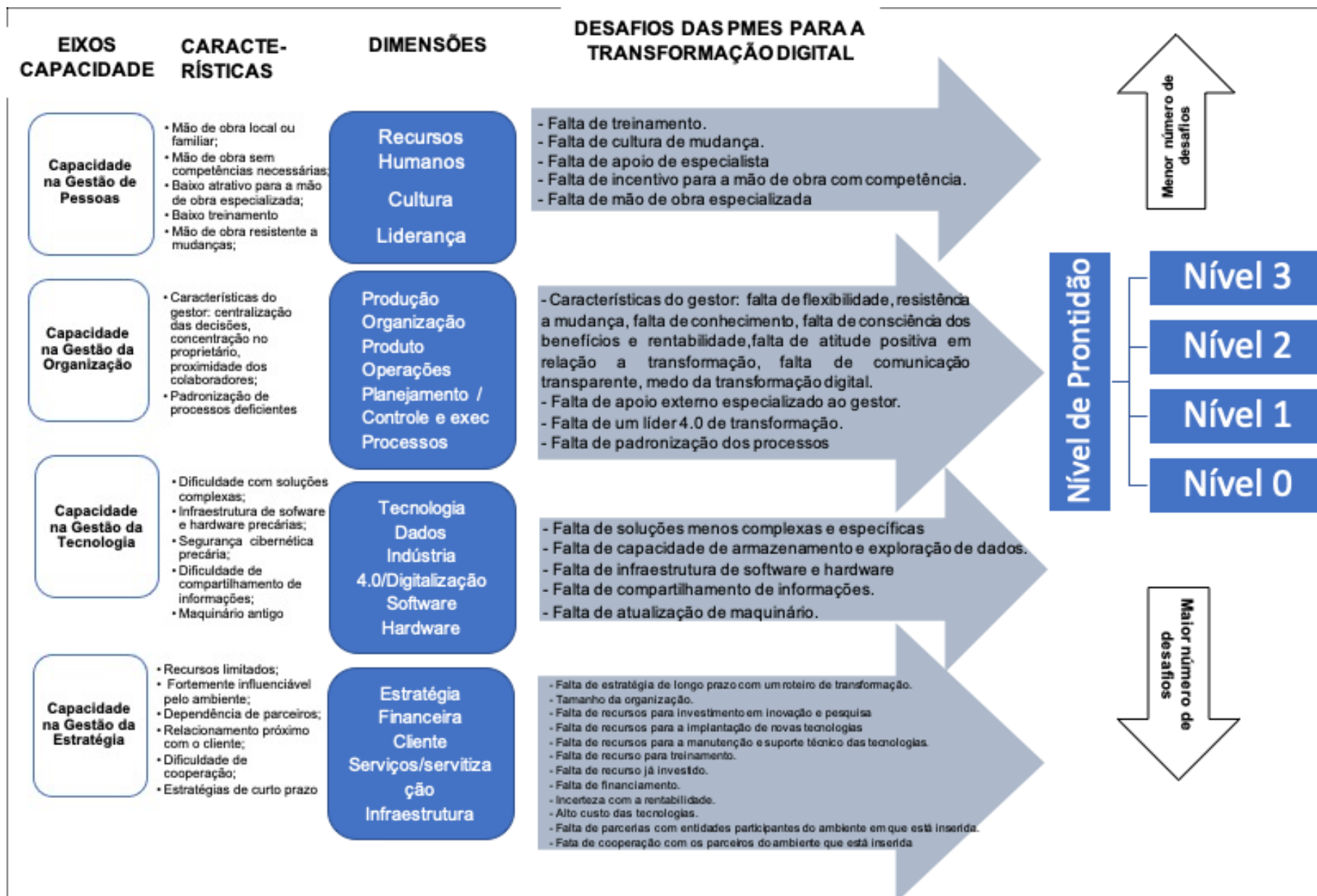
Fonte: Autoria própria (2022)

Ainda, a partir da pesquisa bibliográfica foram encontradas 18 características, listadas no quadro 2, que PMES que podem apresentar que influenciam no processo de transformação digital e ainda 26 desafios, listados no quadro 3, que as PMEs podem enfrentar no seu processo de transformação digital. Tanto as características quanto os desafios para as PMEs encontrados na literatura foram incorporados no modelo proposto de prontidão para PMEs.

Neste formato o modelo desta pesquisa é proposto com quatro eixos-capacidades em que as PMEs devam concentrar seus esforços. Nesses eixos são dispostas 18 características que as PMEs podem apresentar que influenciam na transformação para I4.0, e 19 dimensões avaliadas, vinculadas a 26 desafios que essas empresas enfrentam no processo de transformação digital. Com base nesta composição é proposto um modelo de prontidão para PMEs com o propósito de identificar e mensurar a prontidão das PMEs para a Transformação Digital, baseados nos desafios que essas empresas possuem.

Assim será possível identificar os principais pontos de mudança que possam afetar a organização no processo de transformação de cada PME que o modelo será aplicado. A figura 10 apresenta o modelo proposto, onde é possível visualizar a relação dos “eixos-capacidade” com características, dimensões e desafios que influenciam na transformação digital das PMEs.

Figura 10: Estrutura para avaliar a prontidão de PMEs para a transformação digital com base em seus desafios



4.3.3 Comparação da proposta em relação a literatura identificada

Uma análise dos modelos foi realizada em relação a **abordagem e construção** dos modelos teóricos para avaliação de maturidade e prontidão para I4.0 específicos para PMEs. Com relação a construção os modelos foram avaliados, se utilizavam-se de referência modelos teóricos específicos ou generalistas, e se apresentavam os critérios de especificidade.

Com relação a **abordagem** duas características dos modelos propostos foram avaliadas, a primeira diz respeito a apresentação de uma abordagem com relação aos desafios e características que as PMEs possuem em relação a I4.0 ou se apresentavam a construção de capacidades e dimensões de avaliação específicos de PMEs para a I4.0.

Demonstrando assim de que forma a especificidade dos modelos tem sido tratada pelos autores. Essas informações são possíveis de visualizar na tabela 10.

Quadro 9 - Construção e abordagem dos modelos encontrados

	Autor(es)	Modelos teóricos utilizados na revisão bibliográfica nos artigos	Especificidade na construção da ferramenta	Abordagem nos desafios e características das PMEs para a I4.0	Construção de capacidades ou dimensões de avaliação específicas para PMEs
1	Brozzi <i>et al.</i> (2018)	não específicos	sim	sim	sim
2	Mittal <i>et al.</i> (2018)	Ambos	sim	sim	sim
3	Sheen e Yang (2018).	Não específicos	sim	não	sim
4	Chonsawat e Sopadanz, 2019	Não específicos	não	não	sim
5	Gamache; Abdul-Nour e Baril (2019)	Não específicos	não	não	sim
6	Modrak; Soltysova e Poklemba (2019)	Ambos	não	não	sim
7	Kolla, Minufekr, Plapper, 2019	Ambos	Não	sim	Sim
8	Trotta e Garengo (2019)	Ambos	sim	sim	sim
9	Brozzi at al. (2021)	Ambos	sim	sim	sim

	Autor(es)	Modelos teóricos utilizados na revisão bibliográfica nos artigos	Especificidade na construção da ferramenta	Abordagem nos desafios e características das PMEs para a I4.0	Construção de capacidades ou dimensões de avaliação específicas para PMEs
10	Chonsawat e Sopadang, (2020)	Ambos	não	não	sim
11	Dutta <i>et al.</i> (2020)	Ambos	sim	sim	sim
12	Genest e Gamache (2020)	Ambos	não	não	sim
13	Axmann, e Harmoko (2020)	Não específicos	sim	sim	sim
14	Nick <i>et al.</i> (2020)	Ambos	não	sim	sim
15	Ottesjö <i>et al.</i> (2020)	Não específicos	não	não	sim
16	Pirola, Cimini e Pinto; 2020	Ambos	sim	sim	sim
17	Rafael <i>et al.</i> (2020)	ambos	sim	sim	sim
18	Rauch <i>et al.</i> (2020)	Ambos	sim	sim	sim
19	Amaral e Peças (2021)	não específicos	sim	sim	sim
20	Chaopaisarn e Woschank (2021)	não específicos	não	não	sim
21	Saad, Bahadori E Jafarnejad, 2021	Não específicos	sim	não	sim
22	Saad, Bahadori E Jafarnejad, 2021	Não específicos	sim	não	sim
23	Yezhebey <i>et al.</i> (2021)	Ambos	não	sim	Sim

Fonte: Autoria própria (2022)

Fazendo um apanhado comparativo das características que permeiam, os modelos analisados para a construção do modelo proposto, inicialmente chamou a atenção que nenhum dos modelos encontrados utilizava-se apenas de modelos específicos para a sua construção teóricas, em suas revisões da literatura, todos utilizaram-se de referência os modelos teóricos generalistas ou ambos. A construção do modelo proposto neste trabalho baseia-se em referências de modelos de

maturidade e prontidão no contexto de I4.0, que se apresentem especificidades para PMES.

Os critérios de especificidade de construção avaliados foram os seguintes: 1) Uso de linguagem evitando termos ou conceitos acessíveis a usuários com conhecimento limitado em I4.0; 2) Estrutura da ferramenta deve ser simples, o que inclui questionários intuitivos e compreensíveis para as PMEs. As respostas devem derivar nível digital das empresas; 3) Fragmentação e granularidade dos níveis, ou seja, maior detalhamento desses níveis, para uma melhor avaliação por parte das PMEs (AMARAL; PEÇAS, 2021; AXMANN; HARMOKO, 2020; BROZZI *et al.*, 2018; 2021; DUTTA *et al.*, 2020; MITTAL *et al.*, 2018; PIROLA; CIMINI; PINTO, 2020; RAFAEL *et al.*, 2020; RAUCH *et al.*, 2020; SAAD; BAHADORI; JAFARNEJAD, 2021; SHEEN; YANG, 2018; TROTTA; GARENGO, 2019; YEZHEBAY *et al.*, 2021).

O modelo de avaliação de prontidão de PMEs proposto tem sua abordagem focada nos desafios e características que as PMEs possuem em relação a I4.0, com relação a apresentação dessa mesma abordagem, foram identificados quais modelos apresentavam esse elemento, e foi constatado que este elemento não é unânime entre os modelos, pois dez modelos não apresentaram esse elemento.

A literatura estudada afirma que um modelo específico para avaliar PMEs deve avaliar dimensões ou capacidades que sejam relevantes pra essas empresas, alinhadas com suas características e desafios (AMARAL; PEÇAS, 2021; AXMANN; HARMOKO, 2020; BROZZI *et al.*, 2018; NICK *et al.*, 2020; PIROLA; CIMINI; PINTO, 2020; RAFAEL *et al.*, 2020). Assim foram identificados nos modelos, se estes abordaram capacidades ou dimensões de avaliação de maturidade ou prontidão específicos para PMEs. No modelo proposto neste trabalho são apresentados os eixos-capacidade e dimensões construídos especificamente para avaliar PMEs.

Assim a construção deste novo modelo está amparada em elementos encontradas na avaliação crítica dos modelos, caracterizando-se como um modelo abrangente com relação a esses elementos de especificidade. O modelo proposto tem seu foco na abordagem dos desafios que as PMEs enfrentam para a transição digital em virtude de características que podem apresentar, que influencia no processo de transformação digital.

4.3.4 Aplicação do modelo teórico

A fim de reconhecer em uma PME os conceitos propostos no modelo teórico, ou seja, identificar a prontidão para a I4.0 com base nos desafios, um questionário foi elaborado como instrumento de aplicação do modelo proposto e um teste foi realizado.

A literatura estudada apresenta pouca informação sobre questionários validados como instrumento de aplicação dos modelos teóricos propostos específicos para avaliar PMEs, como é possível visualizar no quadro 4 da seção 2.6 deste trabalho, onde é apresentado uma visão geral dos modelos teóricos de maturidade e prontidão para PMEs encontrados na literatura e apenas dois modelos apresentam um questionário como forma de coleta de informações no formato completo.

O questionário, descrito no Apêndice E, contempla todos os 26 desafios identificados no modelo. Para cada pergunta existe uma opção de resposta descritiva positiva pra o enfrentamento do desafio, uma opção de resposta negativa e uma opção de resposta em que o respondente pode selecionar que aquele desafio é desconhecido ou irrelevante. Este formato possibilita identificar as atuais percepções e atitudes do gestor ou proprietário em relação ao desafio apresentado e, posteriormente, mensurar os resultados de suas percepções e atitudes.

Essa decisão de formato de questionário se deu devido aos testes de Rauch *et al.* (2020) para a construção da sua ferramenta de avaliação, identificarem que as PMEs apresentam dificuldade em julgamento de avaliação para o nível correto somente com números, devido a muitas PMES não possuírem experiência com muitos conceitos da I4.0, onde os gestores necessitavam de mais explicações e, se possível, também um exemplo

A primeira parte do questionário diz respeito a informações da empresa, como localização, ramo de atividade e tamanho da organização. Na segunda etapa as perguntas são focadas nos desafios que estão propostos no modelo teórico. Muito embora o modelo teórico tenha 26 desafios, o questionário apresenta nessa etapa 30 questões, porque o primeiro desafio do Eixo “capacidade na gestão-organização” se desdobra em 5 subquestões.

As questões foram desenvolvidas da seguinte forma: a primeira alternativa de cada questão indica que a empresa vê o desafio apontado como não relevante ou é desconhecido ou ainda não enfrentado pela empresa. A escala numérica para esta

resposta será sempre de (-1). A segunda alternativa representa que a organização reconhece e está enfrentando naquele momento o desafio apontado, e a escala numérica correspondente a essa alternativa é zero. A terceira alternativa da questão indica que o desafio já foi superado e a escala numérica determinada é (1).

O resultado do índice de casa eixo é calculado com base na média da somatória das respostas dos desafios e o índice global é calculado com a média da somatória dos eixos, de acordo com a equação 1 e equação 2.

$$I_e = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (\text{Eq,01})$$

Onde,

I_e : Índice do eixo

$X_1 + X_2 + \dots + X_n$: Valores correspondentes as alternativas

n : Número de questões do eixo

$$I_g = \frac{I_1 + I_2 + I_3 + I_4}{4} \quad (\text{Eq, 2})$$

Onde,

I_g : Índice geral

$I_1 + I_2 + I_3 + I_4$: valores correspondentes ao resultado de cada eixo

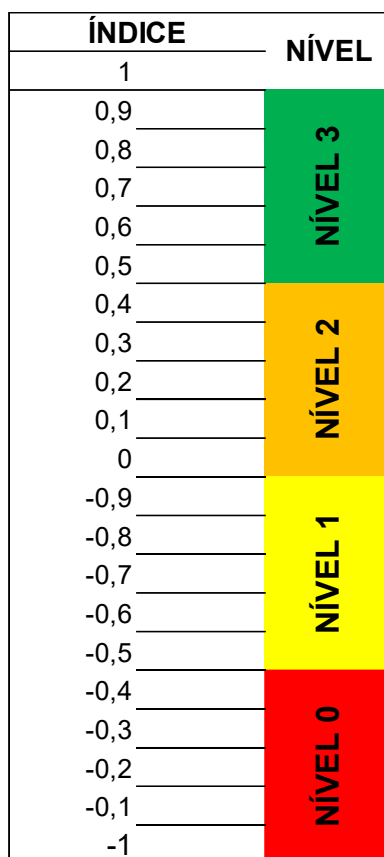
4.3.5 Construção dos níveis de prontidão

O último passo para a construção do modelo foi a estruturação dos níveis de prontidão. Os modelos de avaliação de prontidão em geral utilizam de tais níveis para expressar o progresso de prontidão para implantação da I4.0 na empresa estudada (RAUCH *et al.*, 2020). A mesma abordagem foi utilizada no modelo de avaliação proposto, com relação dos desafios enfrentados para pelas PMEs no processo de

transformação digital, através da avaliação dos desafios propostos para cada eixo-capacidade.

São propostos 4 níveis de prontidão, iniciando do 0 até 3, conforme o índice obtido para empresa, e ilustrado na figura 11.

Figura 11 - Mensuração dos níveis de avaliação



Fonte: Autoria própria (2022)

A partir das respostas dadas pela empresa utilizando-se o questionário descrito no apêndice E, utilizando-se das equações 1 e 2, e baseado na Figura 11, pode-se avaliar o nível de prontidão da PME para cada um dos eixos-capacidade, assim como seu nível de prontidão global.

Desta forma a ferramenta se caracteriza como sendo uma ferramenta de autoavaliação de prontidão para a I4.0, específica para PMEs, conforme a literatura estudada, apresentando uma maior granulação dos níveis iniciais de avaliação para a prontidão (BROZZI *et al.*, 2018; DUTTA *et al.*, 2020; RAFAEL *et al.*, 2020; TROTTA; GARENGO, 2019). Com o propósito de ser uma ferramenta menos complexa e sucinta (AXMANN; HARMOKO, 2020; BROZZI *et al.*; 2018; MODRAK; SOLTYSOVA; POKLEMB, 2019; RAFAEL *et al.*, 2020; TROTTA; GARENGO, 2019;) para que

usuários com um conhecimento limitado em I4.0 possam responder a pesquisa (BROZZI *et al.*, 2018; SHEEN; YANG, 2018).

4.4 Aplicação do modelo de prontidão

As informações foram coletadas em uma PME teste, através do questionário, estruturado em um formato online, cujo endereço eletrônico para acesso foi enviado para o correio eletrônico na empresa. A empresa está localizada na cidade de Castro, no estado do Paraná é uma prestadora de serviços e o questionário respondido por um dos proprietários da empresa.

Conforme as informações coletadas no questionário, a empresa teste é uma PME, que possui atividade no ramo de prestação de serviços, possui 6 colaboradores e um faturamento maior que R\$ 360 mil e menor ou igual a R\$ 4,8 milhões.

A tabela 10 apresenta as respostas de empresa teste na escala de valores proposta para cada alternativa apontada.

Tabela 8 – Mensuração por eixo do índice de prontidão para transformação digital da empresa teste

EIXO	QUESTÕES RESPONDIDAS - EMPRESA TESTE												Média do eixo
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	
Pessoas	0	1	0	0	0								0,2
Estratégia	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0,4166
Tecnologia	1	0	0	0	0								0,2
Organização	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q1.5	Q2	Q3	Q4					
	0	1	1	1	0	0	0	1					0,5

Fonte: Autoria própria (2022)

A tabela 11 apresenta o índice geral de prontidão para transformação digital da empresa teste, de acordo com os índices de cada eixo-capacidade, o valor calculado é 0,3291.

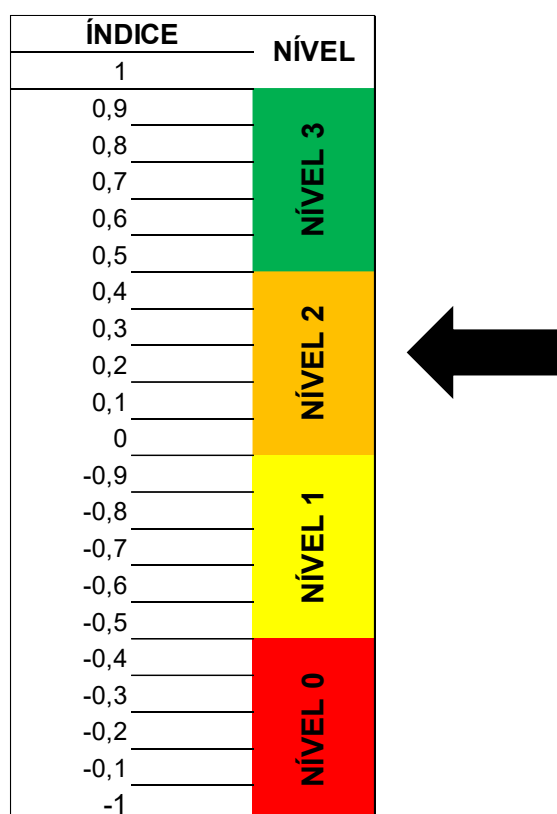
De acordo com os dados coletados na empresa teste o valor de índice mensurado foi de 0,3291, portanto neste momento ela está posicionada no **nível 2**, conforme podemos observar na representação gráfica dos níveis apresentada na figura 12.

Tabela 9 – Índice geral de prontidão para transformação digital da empresa-teste

EIXO	Índice por eixo-capacidade
Pessoas	0,2
Organização	0,5
Tecnologia	0,2
Estratégia	0,4166
Índice Geral	0,3291

Fonte: Aatoria própria (2022)

Figura 12 – Representação do nível prontidão para transformação digital da empresa teste de acordo com o índice calculado.

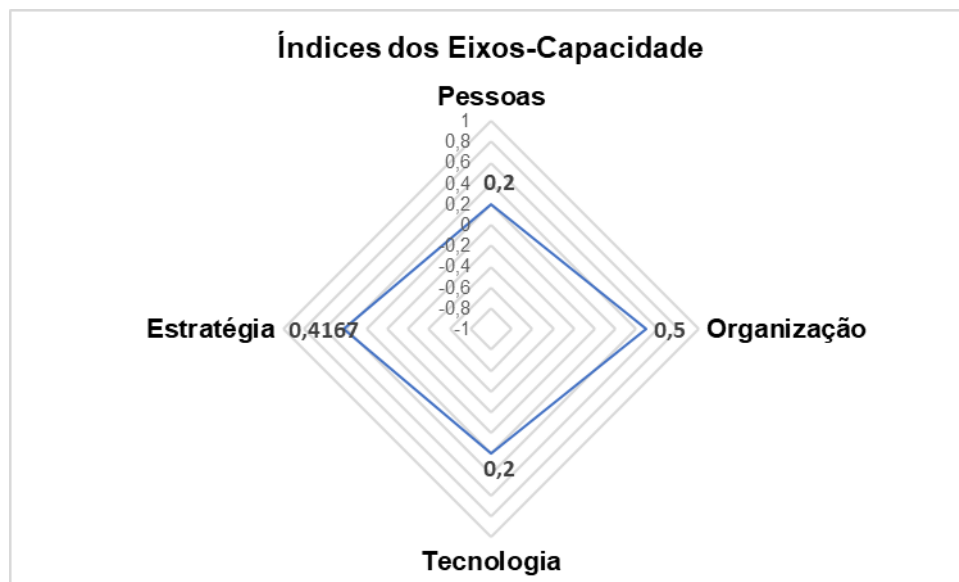


Fonte: Aatoria própria (2022)

O nível de prontidão geral da empresa-teste indica que a PME ainda possui desafios serem superados, mas há apontamentos de desafios já superados.

Quando observamos os níveis por eixos-capacidade, podemos apontar quais estão em melhor posicionamento. A figura 13 apresenta um comparativo dos índices calculados por eixo.

Figura 13 – Representação dos Índices por Eixo-Capacidade



Fonte: Autoria própria (2022)

No eixo-capacidade **Pessoas** a empresa teste apresentou o índice 0,2. O eixo-capacidade **Organização** apresentou um índice de 0,5, o que representa que este “eixo-capacidade” está melhor posicionado em relação aos demais “eixos-capacidade”. O “eixo-capacidade” **Tecnologia** apresentou também um índice no valor de 0,2, estando igualmente posicionado ao “eixo-capacidade” **Pessoas**. O “eixo-capacidade” **Estratégia** apresentou um índice de 0,4167, embora tenha apresentado um índice superior ao índice geral, este “eixo-capacidade” se manteve abaixo do “eixo-capacidade” **Organização**, que foi o melhor colocado.

Através da análise dos índices de cada eixo-capacidade é possível entender que a empresa teste possui desafios a serem superados igualmente nos eixos-capacidade **Pessoas** e **Tecnologia**. O “eixo-capacidade” **Estratégia** embora bem posicionado apresenta o índice abaixo do “eixo-capacidade” **Organização**, que com o valor 0,5 foi o “eixo-capacidade” melhor posicionado, estando inclusive maior que o índice geral da organização que foi 0,3291.

Com base nos resultados é possível apontar que a PME teste precisa dedicar mais esforços para superar os desafios nos “eixos-capacidade” **Pessoas** e **Tecnologia**, para aumentar sua prontidão para a transformação digital. Os “eixos-capacidade” **Estratégia** e **Organização**, estão melhores posicionados, mas ainda vão demandar esforços em virtude dos desafios que precisam ser enfrentados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho atingiu o objetivo geral de propor um modelo para mensuração do nível de prontidão para a I4.0 específico para PMEs. Isso foi possível através da realização dos objetivos específicos, as considerações sobre a execução de cada um podem ser vistas a seguir.

5.1 Análise dos objetivos

1) Identificar os benefícios que as PMEs podem obter com a implementação da I4.0, cumprido através da análise do portfólio de artigos da pesquisa inicial e apresentados na sessão 2.3 do referencial teórico.

2) Identificar os influenciadores da implementação da I4.0 em PMEs, os influenciadores foram descritos na sessão 2.3 e 2.4 do referencial teórico, apresentados como oportunidades e benefícios que as PMEs podem obter com I4.0 e limitações ou desafios que as PMEs enfrentam em virtude de suas características. Estes influenciadores também foram identificados através da análise do portfólio da pesquisa inicial, onde a metodologia de seleção dos artigos é apresentada na sessão e análise de conteúdo na sessão

3) Identificar na literatura modelos para avaliação de maturidade e prontidão para a implementação da I4.0 específicos para PMEs, este objetivo específico só foi possível cumprir através de uma pesquisa bibliográfica específica, com metodologia descrita na sessão 3.2. Os modelos encontrados na literatura são descritos na sessão 2.5 do referencial teórico.

4) Construir um modelo teórico para mensuração do nível de prontidão para a I4.0 específico para PMEs; esse objetivo foi alcançado e é descrito no capítulo 4.

5) Construir uma ferramenta de mensuração do nível de prontidão para a I4.0 através do modelo teórico proposto. Onde a descrição da construção do mesmo é apresentada na sessão 4.3 e o resultado do teste de aplicação, está apresentado na sessão 4.4.

5.2 Considerações gerais

A transformação digital relacionada às tecnologias associadas à chamada I4.0 é especialmente desafiador para PMEs, o que impacta no desenvolvimento competitivo dessas empresas.

O modelo proposto é construído especificamente para PMEs, pois contempla a identificação dos desafios que essas empresas podem enfrentar em virtude de suas características. Assim essas empresas podem identificar se estão enfrentando esses desafios e tendo elas identificado, saibam o seu nível de prontidão para a implantação das tecnologias da I4.0 e busquem a melhor solução para superar os desafios.

A aplicação do modelo, embora feita de maneira bastante reduzida, se mostrou consistente, e os resultados foram coerentes com a percepção da empresa entrevistada, proporcionando possibilidades dessa melhor planejar-se estrategicamente.

5.3 Contribuições do trabalho

Diante da originalidade do presente trabalho, visualizada através das duas pesquisas bibliográficas, especialmente visualizada na pesquisa bibliográfica inicial nota-se a importância deste estudo no contexto mundial atual.

Estimular a transformação digital de PMEs é empenhar esforços em diversos segmentos de empresas, pois a classificação de PMEs engloba um grupo heterogêneo de empresas.

Assim diante desta importância, durante a construção deste trabalho podemos identificar contribuições em três aspectos: acadêmico, econômico e social, as observações são apresentadas a seguir

Aspecto Acadêmico: numa perspectiva teórica, o trabalho contribui para a construção literária sobre a I4.0, principalmente este tema relacionado a transformação digital de PMEs. Esta pesquisa desenvolveu um modelo teórico específico para avaliar PMEs baseado nos desafios que estas empresas possuem, o que pode auxiliar futuras pesquisas sobre o mesmo tema, além de promover o conhecimento sobre as especificidades dessas empresas para a I4.0 que pode auxiliar em pesquisas qualitativas futuras.

Aspecto Econômico: este trabalho sinalizou caminhos possíveis para a transformação digital de PMEs com a identificação dos desafios específicos dessas

empresas para a I4.0, assim essas empresas podem fazer a identificação e buscar soluções para estes desafios. Dessa forma o modelo oferece de forma estruturada de auxílio para os gestores ou proprietários de PMEs em suas tomadas de decisões.

Aspecto Social: Foi possível perceber que as PMEs são empresas que possuem singularidades, através da identificação das características e desafios que essas empresas podem apresentar que influenciam na transformação digital, o que aponta que essas empresas necessitam de políticas governamentais especiais em virtude de suas especificidades, este trabalho oferece a gestores governamentais informações sobre I4.0 e PMEs, que podem auxiliar no planejamento adequado da inserção de PMEs na I4.0.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

Em virtude do estudo realizado utilizar apenas a literatura para a construção de um modelo específico para avaliar PMEs para a prontidão para a I4.0, pesquisas baseadas na construção de modelo de prontidão considerando opiniões de especialistas podem ser realizadas, onde os desafios avaliados e os eixos-capacidades propostos podem ser ranqueados com a relação à importância que os mesmos podem apresentar no processo de transformação digital de uma PME.

Para a aplicação do modelo foi realizada um teste em uma PME selecionada, assim a sugere-se a validação do modelo em mais PMEs, de diversos ramos de atuação e de várias localizações geográficas.

Em virtude da classificação PMEs contemplar um grupo com empresas de diversos segmentos é possível também delimitar um grupo mais específico de empresas a ser estudado, como por exemplo: PMEs industriais ou PMEs prestadoras de serviços, entre outros ramos de atuação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **A nova revolução industrial já começou**. Disponível em: <www.abdi.com.br/projetos/industria-4-0-1>. Acesso em: 08 fev. 2021.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Chamado Digital.BR**. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br>> Acesso em: 08 fev. 2021.

AGOSTINI, L.; NOSELLA, A. The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study. **Management Decision**. v. 58, n. 4, p. 625-643, 2019.

ALMEIDA, M.S. **Elaboração de Projeto, TCC, Dissertação e Tese: uma abordagem simples, prática e objetiva**. 2 Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2014.

AMARAL, A; JORGE, D; PEÇAS, P. Small medium enterprises and industry 4.0: current models' ineptitude and the proposal of a methodology to successfully implement industry 4.0 in small medium enterprises. **Procedia Manufacturing**, v. 41, p. 1103-1110, 2019.

AMARAL, A.; PEÇAS, P. A framework for assessing manufacturing smes industry 4.0 maturity. **Applied Sciences**, v. 11, n. 13, pág. 6127, 2021.

AXMANN, B.; HARMOKO, H. Industry 4.0 Readiness Assessment: Comparison of Tools and Introduction of New Tool for SME. **Tehnicki Glasnik-Technical Journal**, vol. 14(2), pp. 212-217, 2020.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **Porte de empresa: Classificação de porte dos clients**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/porte-de-empresa>>. Acesso em 17 de out. de 2019.

BÄR, K.; HERBERT-HANSEN, Z.N.L.; KHALID, W. Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME, **Production Engineering**, v. 12, n. 6, p. 747-758, 2018.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 1. Ed. São Paulo: Editora Edições 70, 2011.

BRASIL. **Lei complementar nº 155, de 27 de outubro de 2016**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp155.htm>. Acesso em 17 de outubro de 2019.

BIRKEL, H.S.; VEILE, J.W.; MÜLLER, J.M.; HARTMANN, E.; VOIGT, K.-I. Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers. **Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 384, 2019.

BOSMAN, L.; HARTMAN, N.; SUTHERLAND, J. How manufacturing firm characteristics can influence decision making for investing in Industry 4.0

technologies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1117-1141, 2019.

BROZZI, R.; RAUCH, E.; RIEDL, M.; MATT, D.T. Industry 4.0 roadmap for SMEs: validation of moderation techniques for creativity workshops. **International Journal of Agile Systems and Management**, v. 14(2), p. 276-291, 2021.

BROZZI, R.; D'AMICO, R.D., PASETTI M.G., MARCHER, C., RIEDL, M.; MATT, D. Design of self-assessment tools to measure industry 4.0 readiness. A methodological approach for craftsmanship SMEs. **15th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM)**, v. 540 pp. 566-578, 2018.

CHAOPAISARN, P.; WOSCHANK, M. Maturity model assessment of SMART logistics for SMEs. **CMUJ. Nat. Sci**, v. 20, n. 2, p. 2021025, 2021.

CHIPMAN, J. **Pareto: manuel of political economy**. University of Minnesota. 2002. Disponível em: <<http://www.econ.umn.edu/~jchipman/DALLOZ5.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2021.

CHONSAWAT, N.; SOPADANG, A. The development of the maturity model to evaluate the smart SMEs 4.0 readiness. **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok, Thailand, March 5-7, 2019**, pp. 354-363, 2019.

CHONSAWAT, N.; SOPADANG, A. Smart SMEs 4.0 maturity model to evaluate the readiness of SMEs implementing Industry 4.0. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 20(2), p. 1-13, 2021.

COMISSÃO EUROPEIA. **Guia do utilizador relativo à definição de PME**. Luxemburgo: serviço das publicações da União Europeia, 2015. Disponível em: <http://publications.europa.eu/resource/cellar/79c0ce87-f4dc-11e6-8a35-1aa75ed71a1.0013.01/DOC_1>. Acesso em: 10 fev. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **A Difusão Das Tecnologias Da Indústria 4.0 Em Empresas Brasileiras**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/c4/26/c42635b7-c3c0-4763-8ed2-69aa33b8a07e/a_difusao_das_tecnologias_da_industria_40_vf.pdf> Acesso em: 10 fev. 2021.

COTRINO, A; SEBASTIÁN, M. A.; GONZÁLEZ-GAYA, C. Industry 4.0 Roadmap: Implementation for small and medium-sized enterprises. **Applied Sciences**, v. 10, n. 23, p. 8566, 2020.

CORSELLI-NORDBLAD L.; STRANDELL H. Key Figures on Europe: Statistics Illustrated. **Eurostat: Luxemburgo**, ISBN 978-92-76-19819-2, p. 13, 2021.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto**. 2010. 3 Ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2010.

JESUS, C. D.; 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(17), p. 5825, 2020.

DUTTA, G.; KUMAR, R.; SINDHWANI, R.; SINGH, R.K. Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of Industry 4.0. **Competitiveness Review**, v. 30 (3), p. 289-314, 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **Regional policy for smart growth of SMEs**: Guide for Managing Authorities and bodies in charge of the development and implementation of Research and Innovation Strategies for Smart Specialization. Luxembourg: 2013.

FINK, A. **Conducting research literature reviews**: from paper to the internet. Thousand Oaks: Sage; 1998.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GAMACHE, S.; ABDUL-NOUR, G.; BARIL, C. Development of a digital performance assessment model for Quebec manufacturing SMEs. **Procedia Manufacturing**, v. 38, p. 1085-1094, 2019.

GARZONI, A.; TURI, I. D.; SECUNDO, G.; Vecchio, P. D. Fostering digital transformation of SMEs: a four levels approach. **Management Decision**, 2020.

GENEST, M.C.; GAMACHE, S. Prerequisites for the implementation of industry 4.0 in manufacturing SMEs. **Procedia Manufacturing**, v. 51, p. 1215-1220.

GHOBAKHLOO, M.; CHING, N.T. Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs. **Journal of Industrial Information Integration**, 2019.

HANSEN, E. B.; IFTIKHAR, N.; BOGH, S. Concept of easy-to-use versatile artificial intelligence in industrial small & medium-sized enterprises. **Procedia Manufacturing**, v. 51, p. 1146-1152, 2020.

HASEEB, M.; HUSSAIN, H. I.; ŚLUSARCZYK, B.; JERMSITTIPARSERT, K. Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance. **Social Sciences**, v. 8(5), p. 154, 2019.

HORVÁTH, D.; SZABÓ, R. Z. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? **Technological forecasting and social change**, v.146, p. 119-132, 2019

INGALDI, M.; ULEWICZ, R. Problems with the implementation of industry 4.0 in enterprises from the SME sector. **Sustainability**, 2020.

KAMBLE, S., GUNASEKARAN, A., GHADGE, A.; RAUT, R. A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in

SMMEs- A review and empirical investigation. **International Journal of Production Economics**, 2020.

KOLLA, S.; MINUFEKR, M.; PLAPPER, P. Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs. **Conference on Manufacturing Systems, 2nd CIRP CMS**, v. 815, pp. 753-758, 2019.

KUMAR, R., SINGH, R. K.; DWIVEDI, Y. K. Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. **Journal of cleaner production**, v. 275, p. 124063, 2020.

LI, D.; FAST-BERGLUND, Å.; PAULIN, D. Current and future Industry 4.0 capabilities for information and knowledge sharing: Case of two Swedish SMEs. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2019.

MASOOD, T.; SONNTAG, P. Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. **Computers in Industry**. v. 121, p. 103261, 2020.

MATT, D. T; RAUCH, E. SME 4.0: The role of small-and medium-sized enterprises in the digital transformation. **Industry 4.0 for SMEs**. Palgrave Macmillan, Cham, p3-36, 2020.

MITTAL, S.; KHAN, M.A., ROMERO, D.; WUEST, T. A critical review of Smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of Manufacturing Systems**, v. 49, p. 194-214, 2018.

MODRAK, V.; SOLTYSOVA, Z.; POKLEMBBA, R. Mapping requirements and roadmap definition for introducing I 4.0 in SME environment. **In Advances in manufacturing engineering and materials**, (pp. 183-194). Springer, Cham.,2019.

MOEUF, A.; LAMOURI, S., PELLERIN; R., TAMAYO-GIRALDO S.; TOBON-VALENCIA, E.; EBURDY, R. Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. **International Journal of Production Research**. v. 58, n. 5, p. 1384-1400, 2020.

MOEUF, A.; PELLERIN, R.; LAMOURI, S.; TAMAYO-GIRALDO, S.; BARBARAY, R. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International journal of production research**, v. 56(3), p. 1118-1136, 2018.

MUBAROK, K. Redefining Industry 4.0 and its enabling technologies. *In: Journal of Physics: Conference Series*. **IOP Publishing**. v. 1569, n. 3, p. 032025, 2020.

NICK, G.; SZALLER, Á.; VÁRGEDO, T. Modelo CCMS: Uma nova abordagem para avaliação do nível de digitalização para empresas manufatureiras. *In: Proceedings of the 16th European Conference on Management, Leadership and Governance, ECMLG*, p. 195-203, 2020.

MÜLLER, J.M.; BULIGA, O.; VOIGT, K.-I. The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business models - a comparison between SMEs and large enterprises. **European Management Journal**, v. 39, n. 3, p. 333-343, 2021.

MÜLLER, J.M.; VOIGT, K.-I. Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 5, n. 5, p. 659-670, 2018.

NARWANE, V.S., RAUT, R.D., GARDAS, B.B., KAVRE, M.S.; NARKHEDE, B.E. Factors affecting the adoption of cloud of things: The case study of Indian small and medium enterprises, **Journal of Systems and Information Technology**, Vol. 21 No. 4, pp. 397-418, 2019.

NEIROTTI, P.; RAGUSEO, E.; PAOLUCCI, E. How SMEs develop ICT-based capabilities in response to their environment: Past evidence and implications for the uptake of the new ICT paradigm. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 31 No. 1, pp. 10-37, 2018

NOGUEIRA, M. O. Uma análise contextual das políticas públicas voltadas para as empresas de pequeno porte no Brasil, Texto para Discussão, No.2233, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, Brasília, 2016.

OTTESJÖ, B.; NYSTRÖM, S.; NÅFORS, D.; BERGLUND, J.; JOHANSSON, B.; GULLANDER, P. A tool for holistic assessment of digitalization capabilities in manufacturing SMEs. **Procedia CIRP**, v. 93, p. 676-681, 2020.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PAGANI, R., KOVALESKI, J., RESENDE, L. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**. 46(2), 161-187, 2018.

PECH, M.; VRCHOTA, J. Classification of small-and medium-sized enterprises based on the level of industry 4.0 implementation. **Applied Sciences**. v. 10, n. 15, p. 5150, 2020.

PIROLA F; CIMINI, C.; PINTO R. Digital readiness assessment of Italian SMEs: A case-study research. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31 (5). pp. 1045-1083, 2020.

PRAUSE, M. Challenges of industry 4.0 technology adoption for SMEs: the case of Japan. **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 5807, 2019.

RAFAEL, L.D., JAIONE, G.E., CRISTINA, L.; IBON, S.L. An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 159, p.120203, 2020.

RAHAMADDULLA, S. R. B.; LEMAN, Z., BAHARUDIN, B.H.T.B.; AHMAD, S. A.; Conceptualizing Smart Manufacturing readiness-maturity model for Small and Medium Enterprise (SME) in Malaysia. **Sustainability**, v. 13(17) p. 9793, 2021.

RAJNAI, Z.; KOCSIS, I. Assessing industry 4.0 readiness of enterprises. **16th world symposium on applied machine intelligence and informatics (SAMI)**, IEEE, p. 000225-000230, 2018.

RAUCH, E., DALLASEGA, P.; UNTERHOFER, M. Requirements and barriers for introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises. **IEEE Engineering Management Review**. v. 47, n. 3, p. 87-94, 2019.

RAUCH, E.; UNTERHOFER, 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, p. 3559, 2020.

RAUCH, E.; VICKERY, A.R. Systematic analysis of needs and requirements for the design of smart manufacturing systems in SMEs. **Journal Of Computational Design And Engineering**. v. 7, n. 2, p. 129-144, 2020.

RODRIGUES, T. V. **Proposição de um modelo para mensurar o nível de prontidão de uma indústria para a implementação da indústria 4.0**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

SAAD, S.M.; BAHADORI, R.; JAFARNEJAD, H. The smart SME technology readiness assessment methodology in the context of industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32(5), p. 1037-1065, 2021.

SAAD, S. M., BAHADORI, R., JAFARNEJAD, H.; PUTRA, M. F. Smart production planning and control: technology readiness assessment. **Procedia computer science**, v.180, p.618-627, 2021.

SAFAR, L.; SOPKO, J.; DANCAKOVA, D.; WOSCHANK, M. Industry 4.0-Awareness in South India. **Sustainability**, v. 12(8), p. 3207, 2020.

SAUER, P. C., ORZES, G., DAVI, L. Toward SME 4.0: The impact of industry 4.0 technologies on SMEs, *In*: **Sauer, P. C (Ed.). Business Models. Implementing Industry 4.0 in SMEs. Palgrave Macmillan**, Cham, pp 293-343, 2021.

SCHUH, G., REUTER, C., HAUPTVOGEL, A.; DÖLLE, C. Hypotheses for a theory of production in the context of Industrie 4.0. **Advances in Production Technology**, p. 11-23, 2015.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 1a Edição 2016. São Paulo: Edipro.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENAS EMPRESA. **Anuário do trabalho nos pequenos negócios: 2016**. 9ª edição. São Paulo: 2018.

Disponível em < <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/sp/sebraeaz/pequenos-negocios-em-numeros,12e8794363447510VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

SEVINÇ, A.; GÜR, S.; EREN, T. Analysis of the difficulties of SMEs in industry 4.0 applications by analytical hierarchy process and analytical network process. **Processes**, v. 6, n. 12, p. 264, 2018.

SHEEN, D.; YANG, Y. Assessment of readiness for smart manufacturing and innovation in Korea. *In*: **2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON)**. IEEE, 2018. p. 1-5.

SME4.0 (SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES 4.0). **Papers + Publications:2021**. Disponível em <<https://www.sme40.eu/results/papers-publications/>>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

SOMMER, L. Industrial revolution - Industry 4.0: are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? **Journal of Industrial Engineering and Management**. 2015. Vol 8, No 5, pp. 1512-1532.

SOUZA, M. C. A. F. **Pequenas e médias empresas na reestruturação industrial**. Brasília: Sebrae, 1995.

STEFAN, L.; THOM, W.; DOMINIK, L.; DIETER, K.; BERND, K. Concept for an evolutionary maturity based Industry 4.0 migration model. **51st CIRP Conference on Manufacturing Systems**, vol. 72 pp. 404-409, 2018.

STENTOFT, J., WICKSTRØM, K.A., HAUG, A.; PHILIPSEN, K. Cost-driven motives to relocate manufacturing abroad among small- and medium-sized manufacturers: The influence of Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32(3), p. 646-666, 2020.

STENTOFT, J., ADSBØLL WICKSTRØM, K., PHILIPSEN, K. and HAUG, A. Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. **Production Planning & Control**, v. 32(10), p. 811-828, 2021.

TERMINANTO, A.; HIDAYANTO, A. N.; NUGROHO, W. Measurement of readiness levels for adoption of enterprise resource planning clouds in small medium enterprise with net ready model. **Journal of Computational and Theoretical Nanoscience**, v. 16, n. 12, p. 5396-5407, 2019.

TROTTA, D.; GARENGO, P. Assessing industry 4.0 maturity: an essential scale for SMEs. *In*: **2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)**. IEEE, 2019. p. 69-74.

TURKES, M.C.; ONCIOIU, I.; ASLAM, H.D.; MARIN-PANTELESCU, A.; TOPOR, D.I., CAPUSNEANU, S., TÜRKES, M.C., ONCIOIU, I., ASLAM, H.D.; MARIN-PANTELESCU, A.; TOPOR, D.I.; CĂPUȘNEANU, S. Drivers and barriers in using Industry 4.0: a perspective of SMEs in Romania. **Processes**, v. 7, n. 3, p. 153,2019.

YEZHEBAY, A., SENGIROVA, V., IGALI, D., ABDALLAH, Y. O.; SHEHAB, E. Digital maturity and readiness model for Kazakhstan SMEs. *In* **2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST IEEE)**, p. 1-6, 2021.

ZAMBON, I.; CECCHINI, M.; EGIDI, G.; SAPORITO, M. G.; COLANTONI, A. Review Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a Future Development for SMEs. **Processes**. 2019.

ZAPATA, M.L.; BERRAH, L.; TABOUROT, L. Is a digital transformation framework enough for manufacturing smart products? The case of Small and Medium Enterprises. **1st International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing**, v. 42, pp. 70-75, 2020.

APÊNDICE A – Relação dos artigos constituintes do portfólio final utilizados na pesquisa inicial

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	Ci	JCR	a	Rank	Pareto ¹
Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S. and Barbaray, R.	The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0	2018	International Journal of Production Research	article	580	8,568	658,57	1	1,581
Mueller, J.M., Buliga, O., Voigt, K.-I.K.-I., Müller, J.M., Buliga, O. and Voigt, K.-I.K.-I.	Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0	2018	Technological Forecasting and Social Change	article	546	8,593	624,59	2	1,500
Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D. and Wuest, T.	A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)	2018	Journal of Manufacturing Systems	article	369	8,633	447,63	3	1,075
Sommer, L.	Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?	2015	Journal of Industrial Engineering and Management	article	406	0,000	446,00	4	1,071
Horváth, D., Szabó, R.Z., Horvath, D. and Szabo, R.Z.	Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?	2019	Technological forecasting and social change	article	281	8,593	369,59	5	0,888
Haseeb, M., Hussain, H.I., Ślusarczyk, B. and Jermisittiparsert, K.	Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance	2019	Social Sciences	article	228	0,000	308,00	6	0,740
Ganzarain, J. and Errasti, N.	Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0	2016	Journal of Industrial Engineering and Management	article	247	0,000	297,00	7	0,713

¹ O valor do resultado do índice InOrdinatio de cada artigo foi dividido pela soma total do índice individual dos 401 artigos, o resultado é multiplicado por 100, então foram selecionados os artigos até que a soma do resultado desse cálculo atingisse 20.

Zambon, I., Cecchini, M., Egidio, G., Saporito, M.G. and Colantoni, A.	Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs	2019	Processes	article	181	2,847	263,85	8	0,634
Birkel, H.S., Veile, J.W., Müller, J.M., Hartmann, E. and Voigt, K.-I.	Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers	2019	Sustainability	article	167	3,251	250,25	9	0,601
Müller, J.M. and Voigt, K.-I.	Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025	2018	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology	article	152	5,671	227,67	10	0,547
Stentoft, J., Jensen, K.W., Philipsen, K. and Haug, A.	Drivers and Barriers for Industry 4.0 Readiness and Practice: A SME Perspective with Empirical Evidence	2019	Production Planning & Control	book	118	7,044	205,04	11	0,492
Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E. and Eburdy, R.	Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs	2020	International Journal of Production Research	article	114	0,000	204,00	12	0,490
Goerzig, D. and Bauernhansl, T.	Enterprise Architectures for the Digital Transformation in Small and Medium-sized Enterprises	2018	Procedia Cirp	inproceedings	129	0,000	199,00	13	0,478
Müller, J.M.	Business model innovation in small- and medium-sized enterprises: Strategies for industry 4.0 providers and users	2019	Journal of Manufacturing Technology Management	article	98	7,547	185,55	14	0,446
Müller, J.M., Buliga, O. and Voigt, K.-I.	The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business Models - A comparison between SMEs and large enterprises	2021	European Management Journal	article	74	5,075	179,08	15	0,430
Benitez, G.B., Ayala, N.F. and Frank, A.G.	Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary	2020	International Journal of Production Economics	article	78	7,885	175,89	16	0,422

	perspective on value cocreation								
Masood, T. and Sonntag, P.	Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs	2020	Computers in Industry	article	73	7,635	170,64	17	0,410
Turkes, M.C., Oncioiu, I., Aslam, H.D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D.I., Capusneanu, S.	Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania	2019	Processes	article	76	2,847	158,85	18	0,381
Stentoft, J., Aadsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K. and Haug, A.	Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers	2021	Production Planning & Control	article	48	7,044	155,04	19	0,372
Ghobakhloo, M. and Ching, N.T.	Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs	2019	Journal of Industrial Information Integration	article	60	10,063	150,06	20	0,360
Mittal, S., Khan, M.A., Purohit, J.K., Menon, K., Romero, D. and Wuest, T.	A smart manufacturing adoption framework for SMEs	2020	International Journal of Production Research	article	51	0,000	141,00	21	0,339
Matt, D.T., Orzes, G., Rauch, E. and Dallasega, P.	Urban production – A socially sustainable factory concept to overcome shortcomings of qualified workers in smart SMEs	2020	Computers & Industrial Engineering	article	45	5,431	140,43	22	0,337
Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Ghadge, A. and Raut, R.	A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs- A review and empirical investigation	2020	International Journal of Production Economics	article	42	7,885	139,89	23	0,336
Neirotti, P., Raguseo, E. and Paolucci, E.	How SMEs develop ICT-based capabilities in response to their environment: Past evidence and implications for the uptake of the new ICT paradigm	2018	Journal of Enterprise Information Management	article	62	5,396	137,40	24	0,330

Kumar, R., Singh, R.K. and Dwivedi, Y.K.	Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges	2020	Journal of Cleaner Production	article	38	9,297	137,30	25	0,330
Hansen, E.B. and Bøgh, S.	Artificial intelligence and internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey	2021	Journal of Manufacturing Systems	article	28	8,633	136,63	26	0,328
Ingaldi, M. and Ulewicz, R.	Problems with the implementation of industry 4.0 in enterprises from the SME sector	2020	Sustainability	article	43	3,251	136,25	27	0,327
Sevinç, A., Gür, S. and Eren, T.	Analysis of the difficulties of SMEs in industry 4.0 applications by analytical hierarchy process and analytical network process	2018	Processes	article	59	2,847	131,85	28	0,317
Li, D., Fast-Berglund, Å. and Paulin, D.	Current and future Industry 4.0 capabilities for information and knowledge sharing: Case of two Swedish SMEs	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	article	48	3,226	131,23	29	0,315
Pirola, F., Cimini, C. and Pinto, R.	Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research	2020	Journal of Manufacturing Technology Management	article	33	7,547	130,55	30	0,313
Dutta, G., Kumar, R., Sindhvani, R. and Singh, R.K.	Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of Industry 4.0	2020	Competitiveness Review	article	39	0,000	129,00	31	0,310
Kahle, J.H., Marcon, É., Ghezzi, A. and Frank, A.G.	Smart Products value creation in SMEs innovation ecosystems	2020	Technological Forecasting and Social Change	article	29	8,593	127,59	32	0,306
Agostini, L. and Nosella, A.	The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study	2020	Management Decision	article	32	4,957	126,96	33	0,305

APÊNDICE B – Relação dos artigos constituintes do portfólio utilizados na pesquisa inicial com a descrição dos objetivos e procedimentos metodológicos.

Rank	Autor	Título	Ano	Jornal	Descrição dos objetivos e procedimentos metodológicos
1	Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S. and Barbaray, R.	The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0	2018	International Journal of Production Research	Objetivo: Descobrir os benefícios e exigências para PMEs manufatura aderirem a Indústria 4.0, com foco no planejamento e controle da produção Procedimentos Metodológicos: Revisão de literatura e análise de artigos que tratam exclusivamente de casos empíricos da Indústria 4.0 em PMEs, com o método sistemático de pesquisa bibliográfica Tranfield com análise de 23 artigos.
2	Mueller, J.M., Buliga, O., Voigt, K.-I. K.-I.	Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0	2018	Technological Forecasting and Social Change	Objetivos: Identificar se a busca da Indústria 4.0 reflete na inovação dos modelos de negócios das PME manufatureiras. Procedimentos Metodológicos: Pesquisa qualitativa de abordagem exploratória, com estudo de caso múltiplos com 68 PMEs manufatureiras alemãs.
3	Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D. and Wuest, T.	A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)	2018	Journal of Manufacturing Systems	Objetivo: Revisar criticamente itens atualmente disponíveis em <i>Smart Manufacturing</i> e Indústria 4.0, e analisar seus modelos de maturidade reconhecendo as exigências específicas para PMEs. Procedimentos Metodológicos: Revisão de literatura e discussão crítica de 15 modelos de maturidade, e construção um modelo com os requisitos identificados para PMEs.
4	Sommer, L.	Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?	2015	Journal of Industrial Engineering and Management	Objetivo: Examinar a consciência, prontidão e capacidade das PMEs em responder ao desafio da Indústria 4.0. Procedimentos Metodológicos: Revisão e análise bibliográfica sistemática de 9 artigos sobre o tema.
5	Horváth, D., Szabó, R.Z.,	Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?	2019	Technological forecasting and social change	Objetivo: Explorar como os executivos interpretam o conceito de Indústria 4.0, as forças motrizes e principais barreiras para a introdução de novas tecnologias da Indústria 4.0. Procedimentos Metodológicos: Estudo de caso qualitativo com 26 entrevistas semiestruturadas com líderes de PMEs e Grandes Empresas da Hungria.

6	Haseeb, M., Hussain, H.I., Ślusarczyk, B. and Jermisittiparsert, K.	Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance	2019	Social Sciences	Objetivo: Identificar o papel da Indústria 4.0 na promoção de desempenho de negócios sustentáveis, em PMEs na Tailândia. Procedimentos Metodológicos: Análise de 270 questionários respondidos por gestores de PMEs e analisados através de modelagem de equação estrutural.
7	Ganzarain, J. and Errasti, N.	Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0	2016	Journal of Industrial Engineering and Management	Objetivo: Proposição de um modelo como quadro orientador para a Indústria 4.0 em PMEs, com 3 etapas: visão, estratégia e plano de ação. Procedimentos Metodológicos: Análise da diversificação e avaliação do perfil, competências e tecnologias de PMEs para a Indústria 4.0, empresas participantes de um projeto piloto do território Basco.
8	Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M.G. and Colantoni, A.	Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs	2019	Processes	Objetivo: Investigar como as abordagens da Indústria 4.0 podem ser pertinentes e aplicadas ao setor agrícola e identificar os desafios específicos deste setor para a implantação da Indústria 4.0. Procedimentos Metodológicos: Revisão bibliográfica para explorar e refletir sobre o estado atual da arte.
9	Birkel, H.S., Veile, J.W., Müller, J.M., Hartmann, E. and Voigt, K.-I.	Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers	2019	Sustainability	Objetivo: Propor um quadro de riscos no contexto da Indústria 4.0, utilizando o conceito do tripé da sustentabilidade. Procedimentos Metodológicos: Revisão da literatura e 14 entrevistas com gerentes de PMEs na Alemanha.
10	Müller, J.M. and Voigt, K.-I.	Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025	2018	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology	Objetivo: Identificar como as PMEs percebem os potenciais e desafios na sustentabilidade através da implantação da Indústria 4.0. Procedimentos Metodológicos: Os resultados são baseados em sobre dados obtidos de 329 PME, 222 na Alemanha e 107 na China, permitindo assim uma comparação dos conceitos "Indústria 4.0" e "Made in China 2025" no contexto das PMEs. Com análise e compreensão abrangente de aspectos relativos ao conceito do tripé da sustentabilidade.
11	Stentoft, J., Jensen, K.W., Philipsen, K. and Haug, A.	Drivers and Barriers for Industry 4.0 Readiness and Practice: A SME Perspective with Empirical Evidence	2019	Proceedings of the 52nd Hawaii	Objetivo: Examinar a percepção dos gestores das PME sobre como os motores e barreiras para as tecnologias da Indústria 4.0 afetam a sua prontidão para adotarem tais tecnologias.

				International Conference on System Sciences	Procedimentos Metodológicos: Entrevistas com 308 pequenas e médias empresas fabricantes dinamarquesas, sobre a sua prontidão para a digitalização fabril e a sua prática efetiva nesta área.
12	Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E. and Eburdy, R.	Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs	2020	International Journal of Production Research	Objetivo: Identificar os riscos, oportunidades e fatores críticos de sucesso da Indústria 4.0, no que diz respeito ao desempenho industrial das PMEs. Procedimentos Metodológicos: Consulta com 12 especialistas através do Método Delphi, complementado pelo método de consultas a especialistas Abaco de Régnier.
13	Goerzig, D. and Bauernhansl, T.	Enterprise Architectures for the Digital Transformation in Small and Medium-sized Enterprises	2018	Procedia Cirp	Objetivo: Desenvolver de um método para o planeamento de transformação digital em PMEs Procedimentos Metodológicos: Utilização da abordagem de arquitetura empresarial para a transformação digital em PMEs de engenharia mecânica na Alemanha.
14	Müller, J.M.	Business model innovation in small- and medium-sized enterprises: Strategies for industry 4.0 providers and users	2019	Journal of Manufacturing Technology Management	Objetivo: Apresentar os impactos da Indústria 4.0 nos modelos de negócios de PMEs manufatureiras." Procedimentos Metodológicos: Pesquisa qualitativa, exploratória com entrevistas de 43 gerentes de PMEs de manufatura alemã. O questionário foi construído com base no Modelo Business Model Canvas de Osterwalder e Pigneur.
15	Müller, J.M., Buliga, O. and Voigt, K.-I.	The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business Models - A comparison between SMEs and large enterprises	2021	European Management Journal	Objetivo: Identificar as diferenças de entre PMEs e Grandes Empresas com relação a capacidade de absorção, estratégia de inovação e inovação dos modelos de negócios em resposta ao surgimento da Indústria 4.0. Procedimentos Metodológicos: Entrevista com 113 grandes empresas e 108 PMEs alemãs, conduzida por meio de modelagem de equações estruturais.
16	Benitez, G.B., Ayala, N.F. and Frank, A.G.	Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation	2020	International Journal of Production Economics	Objetivo: Entender como um ecossistema de Inovação para Soluções da Indústria 4.0 pode se consolidar e evoluir, e como o valor é co-criado dentro dele. Procedimentos Metodológicos: Um estudo de caso de um ecossistema de inovação para soluções da Indústria 4.0 localizado no sul do Brasil, com análise de onze anos de evolução do ecossistema, usando um mapeamento de

					tecnologias. Análise de 87 questionários de PMEs. Uma sessão de grupo focal com 37 participantes e acompanhamento de um projeto piloto com 8 empresas acompanhadas por 2,5 anos.
17	Masood, T. and Sonntag, P.	Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs	2020	Computers in Industry	Objetivo: Explorar os desafios e benefícios de adoção tecnologias-chave da I4.0 nas PMEs. Procedimentos Metodológicos: Revisão de literatura e estudo de casos múltiplos, com análise de 271 entrevistas com PMEs do Reino Unido. Com um modelo construído pelo método de Modelagem de Equação Estrutural.
18	Turkes, M.C., Oncioiu, I., Aslam, H.D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D.I., Capusneanu, S..	Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania	2019	Processes	Objetivo: Identificar as opiniões e percepções dos gestores de PMEs da Romênia sobre os fatores de sucesso e barreiras da implementação de tecnologia Industria 4.0 para desenvolvimento de negócios. Procedimentos Metodológicos: Estudo de Casos Múltiplos, com a análise de 176 entrevistas com gestores de PMEs, com a análise de dados através software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).
19	Stentoft, J., Adsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K. and Haug, A.	Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers	2021	Production Planning & Control	Objetivo: Analisar e discutir em relação de condutores e barreiras para as tecnologias da Indústria 4.0 e a prontidão real prática de PMEs. Procedimentos Metodológicos: Entrevista com 190 PMEs de manufatura da Dinamarca, sobre a percepção prontidão para a digitalização fabril e a sua prática efetiva.
20	Ghobakhloo, M. and Ching, N.T.	Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs	2019	Journal of Industrial Information Integration	Objetivo: Identificar os determinantes da adoção de Tecnologias de Informação e Tecnologias Digitais nas PMEs de manufatura. Procedimentos Metodológicos: Opiniões de gestores de PMEs participantes da Malásia e do Irão.
21	Mittal, S., Khan, M.A., Purohit, J.K., Menon, K., Romero, D. and Wuest, T.	A smart manufacturing adoption framework for SMEs	2020	International Journal of Production Research	Objetivo: Desenvolver e avaliar uma estrutura de adoção de Smart Manufacturing orientada para PMEs. Procedimentos Metodológicos: Criação de um quadro orientador para apoiar as PMEs na adoção <i>Smart Manufacturing</i> e estudo de casos múltiplos, com a aplicação do quadro em duas PMEs na Índia.
22	Matt, D.T., Orzes, G., Rauch, E. and Dallasega, P.	Urban production – A socially sustainable factory concept to overcome shortcomings of	2020	Computers & Industrial Engineering	Objetivo: Analisar e discutir o tema da escassez de trabalhadores qualificados na Industria 4.0, com enfoque nas PMEs.

		qualified workers in smart SMEs		Engineering	Procedimentos Metodológicos: Revisão de literatura sobre o tema, análise e investigação sobre o conceito apresentado como Produção Urbana.
23	Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Ghadge, A. and Raut, R.	A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs- A review and empirical investigation	2020	International Journal of Production Economics	Objetivo: Propor um modelo de medição de desempenho para sistemas de fabricação baseados na Indústria 4.0. Procedimentos Metodológicos: A primeira fase realização de uma revisão bibliográfica para identificação das medidas de desempenho no contexto dos sistemas de fabricação inteligentes. Na segunda fase, 142 entrevistas com gerentes de PMEs Indianas, para explorar a possível estrutura dos fatores relativos às medidas de desempenho. A terceira fase foi realizado o estudo final com 254 profissionais de 180 fabricantes e um modelo de Medição de Sistemas Inteligentes de Desempenho foi desenvolvido.
24	Neirotti, P., Raguseo, E. and Paolucci, E.	How SMEs develop ICT-based capabilities in response to their environment: Past evidence and implications for the uptake of the new ICT paradigm	2018	Journal of Enterprise Information Management	Objetivo: Analisar como as peculiaridades das PMEs e o ambiente industrial que estão inseridas afetam no desenvolvimento das capacidades organizacionais decorrentes da adoção de Tecnologias de Informação e Comunicação. Procedimentos Metodológicos: Pesquisa com 284 PMEs da Itália e os dados foram analisados com modelos de regressão para testar sete hipóteses.
25	Kumar, R., Singh, R.K. and Dwivedi, Y.K.	Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges	2020	Journal of Cleaner Production	Objetivo: Analisar os desafios na implementação das tecnologias Indústria 4.0 em PMEs, com enfoque na ética e operações sustentáveis. Procedimentos Metodológicos: Revisão de literatura para identificar os desafios críticos. Para uma melhor classificação e categorização destes desafios, é utilizada a abordagem de Laboratório de Julgamento e Avaliação da Tomada de Decisão chamada DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) com entrevista de 80 especialistas industriais e acadêmicos na Índia.
26	Hansen, E.B. and Bøgh, S.	Artificial intelligence and internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey	2021	Journal of Manufacturing Systems	Objetivo: Investigar o grau de disseminação da Inteligência Artificial e da Internet das Coisas em PMEs manufatureiras. Procedimentos Metodológicos: Revisão de literatura sobre o tema com análise de conteúdo de 37 publicações.

27	Ingaldi, M. and Ulewicz, R.	Problems with the implementation of industry 4.0 in enterprises from the SME sector	2020	Sustainability	Objetivo: Identificar áreas, problemas, oportunidades e potenciais soluções do domínio da Indústria 4.0 em PMEs de manufatura Polonesas. Procedimentos Metodológicos: Um diagnóstico inicial com as características das empresas participantes para a avaliação atual. A segunda fase tomou a forma de uma entrevista de especialistas com as empresas sobre os problemas da Indústria 4.0 encontrados. Uma terceira entrevista foi realizada com as PMEs para a criação de uma plataforma para a Indústria 4.0, com o envolvimento de 200 PMEs.
28	Sevinç, A., Gür, S. and Eren, T.	Analysis of the difficulties of SMEs in industry 4.0 applications by analytical hierarchy process and analytical network process	2018	Processes	Objetivo: Analisar as dificuldades em do processo de transição das PMEs para a Indústria 4.0. Procedimentos Metodológicos: Utilização do método multicritério de tomada de decisão Processo Analítico Hierárquico (AHP).
29	Li, D., Fast-Berglund, Å. and Paulin, D.	Current and future Industry 4.0 capabilities for information and knowledge sharing: Case of two Swedish SMEs	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Objetivo: Compreender o estado atual dos desafios e das possibilidades futuras no desenvolvimento da Indústria 4.0. Procedimentos Metodológicos: Estudo qualitativo e exploratório, com estudo de casos múltiplos de duas PMEs Suecas.
30	Pirola, F., Cimini, C. and Pinto, R.	Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research	2020	Journal of Manufacturing Technology Management	Objetivo: Propor um modelo de avaliação de prontidão digital, adequado para avaliar os níveis de prontidão de PMEs, Procedimentos Metodológicos: Revisão da literatura dos modelos de avaliação de maturidade e prontidão para a Indústria 4.0, para a construção de um novo modelo e validação do modelo com estudos de caso.
31	Dutta, G., Kumar, R., Sindhvani, R. and Singh, R.K.	Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of Industry 4.0	2020	Competitiveness Review	Objetivo: Identificar as áreas funcionais de PMEs fabricantes da Índia que podem se alavancadas com as tecnologias da Indústria 4.0. Metodologia: Levantamento bibliográfica e construção de modelo de maturidade e posterior pesquisa com PMEs indianas para estabelecer as áreas de melhoria
32	Kahle, J.H., Marcon, É., Ghezzi, A. and Frank, A.G.	Smart Products value creation in SMEs innovation ecosystems	2020	Technological Forecasting	Objetivo: Identificar possíveis configurações para ecossistemas de inovação, considerando as características necessárias que eles devem apresentar

				and Social Change	para permitir o desenvolvimento de Produtos Inteligentes desde seus estágios iniciais Metodologia: Estudo de caso em um cluster industrial eletroeletrônico de automação com 120 PMEs brasileiras.
33	Agostini, L. and Nosella, A.	The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study	2020	Management Decision	Objetivo: Investigar se os investimentos em capital financeiro em tecnologias avançadas de fabricação e capital social têm um efeito positivo na adoção de Tecnologias da Indústria 4.0. Metodologia: Utilização de modelos de regressão para analisar os dados recolhidos através de uma pesquisa com PMEs de seis regiões da Europa Central.
34	Matt, D.T. and Rauch, E.	SME 4.0: The role of small-and medium-sized enterprises in the digital transformation	2020	Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements	Objetivos: Investiga as exigências específicas das PMEs para a introdução da Indústria 4.0, com relação oportunidades e dificuldades na transformação digital da manufatura, logística e processos organizacionais nas PMEs. Metodologia: Revisão de literatura e análise do estado da arte.
35	Taylor, M.P., Boxall, P., Chen, J.J.J., Xu, X., Liew, A. and Adeniji, A.	Operator 4.0 or Maker 1.0? Exploring the implications of Industrie 4.0 for innovation, safety and quality of work in small economies and enterprises	2020	Computers & Industrial Engineering	Objetivo: Explorar as implicações para o sucesso empresarial e o bem-estar dos funcionários em pequenas empresas, da Nova Zelândia, em processos produtivos altamente e inovadores. Metodologia: Análise bibliográfica e análise de dados de estudos de casos.
36	Brozzi, R., Forti, D., Rauch, E. and Matt, D.T.	The advantages of industry 4.0 applications for sustainability: Results from a sample of manufacturing companies	2020	Sustainability	Objetivo: Buscar evidências se as empresas transformadoras consideram a implementação da Indústria 4.0 como uma vantagem que contribui para a sustentabilidade ambiental e social e estudar tais relações com tamanhos de empresas, setores da indústria, rotatividade e níveis de digitalização autoavaliados variados. Metodologias: Levantamento bibliográfico e análise de dados de estudos de caso.
37	Rafael, L.D., Jaione, G.E., Cristina, L. and Ibon, S.L.	An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies	2020	Technological Forecasting and Social Change	Objetivo: Construir um modelo de maturidade adaptado a empresas de Máquinas-Ferramenta, principalmente PME. Metodologia: Levantamento bibliográfico e construção do modelo e teste do modelo em uma empresa.

38	Vrchota, J., Řehoř, P., Maříková, M. and Pech, M.	Critical success factors of the project management in relation to industry 4.0 for sustainability of projects	2021	Sustainability	Objetivo: Determinar os fatores críticos de sucesso no gerenciamento de projetos, vistos pelos gerentes de empresas manufatureiras tchecas e analisar a relação desses fatores de sucesso com a Indústria 4.0, recursos humanos e sustentabilidade. Metodologia: Revisão de literatura, estudos de casos, com análise de dados e comparativo entre grandes empresas e PMEs
39	Safar, L., Sopko, J., Bednar, S. and Poklemba, R.	Concept of SME business model for industry 4.0 environment	2018	TEM Journal	Objetivo: Projetar um modelo de organização empresarial, considerando as abordagens dos modelos de negócios tradicionais e requisitos da Indústria 4.0, a fim de servir de orientação para as PME implementação da I4.0. Metodologia: Levantamento teórico para conceitos relacionados ao tema, e posterior requisitos para novos modelos de negócios, apresentando um modelo organizacional/empresarial de referência para PMEs industriais.
40	Bär, K., Herbert-Hansen, Z.N.L. and Khalid, W.	Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME	2018	Production Engineering	Objetivo: Determinar os prováveis benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 e sua influência na cadeia de suprimentos. Metodologia: Desenvolvido um framework para determinar a real os benefícios previstos da Indústria 4.0 para PMEs, estudo de caso aprofundado de uma PME
41	Garzoni, A., De Turi, I., Secundo, G. and Del Vecchio, P.	Fostering digital transformation of SMEs: a four levels approach	2020	Management Decision	Objetivo: Analisar como as tecnologias digitais geram mudanças nos negócios das pequenas e médias empresas identificando o nível de prontidão digital dessas PMEs. Metodologia: Estudo de caso de PMES do projeto Smart District 4.0, destinado a promover a digitalização das PME que operam nas áreas na região Sul da Itália.

APÊNDICE C: Artigos que apresentaram o tema modelo de maturidade e prontidão
para PMEs

	Author	Title	Year	Journal/Proceedings
1	Sommer, L.	Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?	2015	Journal of Industrial Engineering and Management
2	Gamache, S., Abdulnour, G. and Baril, C.	Toward industry 4.0: Studies and practices in Quebec smes	2017	47th International Conference on Computers and Industrial Engineering: How Digital Platforms and Industrial Engineering are Transforming Industry and Services, CIE 2017
3	Brozzi, R., D'Amico, R.D., Pasetti Monizza, G., Marcher, C., Riedl, M. and Matt, D.	Design of self-assessment tools to measure industry 4.0 readiness. A methodological approach for craftsmanship SMEs	2018	15th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM),
4	Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D. and Wuest, T.	A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)	2018	Journal of Manufacturing Systems
5	Sheen, D.-P. and Yang, Y.	Assessment of Readiness for Smart Manufacturing and Innovation in Korea	2018	2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference, TEMSCON 2018
6	Stefan, L., Thom, W., Dominik, L., Dieter, K. and Bernd, K.	Concept for an evolutionary maturity based Industrie 4.0 migration model	2018	Vol. 72Procedia 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems, pp. 404-409
7	Wiesner, S., Gaiardelli, P., Gritti, N. and Oberti, G.	Maturity models for digitalization in manufacturing - applicability for SMEs	2018	Vol. 536IFIP WG 5.7 International Conference on Advances in Production Management Systems, APMS 2018, pp. 81-88
8	Amaral, A., Jorge, D. and Peças, P.	Small Medium Enterprises and Industry 4.0: Current Models' Ineptitude and the Proposal of a Methodology to Successfully Implement Industry 4.0 in Small Medium Enterprises	2019	Procedia Manufacturing
9	Chonsawat, N. and Sopadang, A.	The development of the maturity model to evaluate the smart SMEs 4.0 readiness	2019	Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok, Thailand, March 5-7, 2019.
10	Dewi, F. and Mahendrawathi, E.R.	Business Process Maturity Level of MSMEs in East Java, Indonesia	2019	(5th Information Systems International Conference (ISICO) on Role of Information Systems in Industry 4.0)FIFTH

				INFORMATION SYSTEMS INTERNATIONAL CONFERENCE, Procedia Manufacturing
11	Doyle, F. and Cosgrove, J.	Steps towards digitization of manufacturing in an SME environment	2019	Procedia Manufacturing
12	Gamache, S., Abdul-Nour, G. and Baril, C.	Development of a digital performance assessment model for Quebec manufacturing SMEs	2019	Procedia Manufacturing,
13	Modrak, V., Soltysova, Z. and Poklemba, R.	Mapping Requirements and Roadmap Definition for Introducing I 4.0 in SME Environment	2019	Advances in Manufacturing Engineering And Materials, ICMEM 2018, pp. 183-194
14	Kolla, S., Minufekr, M. and Plapper, P.	Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs	2019	Vol. 8152nd CIRP Conference on Manufacturing Systems, CMS 2019, pp. 753-758
15	Nick, G., Szaller, Á., Bergmann, J. and Várgedő, T.	Industry 4.0 readiness in Hungary: model, and the first results in connection to data application	2019	IFAC-PapersOnLine
16	Stentoft, J., Jensen, K.W., Philipsen, K. and Haug, A.	Drivers and Barriers for Industry 4.0 Readiness and Practice: A SME Perspective with Empirical Evidence	2019	PROCEEDINGS OF THE 52ND ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, pp. 5155-5164
17	Trotta, D. and Garengo, P.	Assessing Industry 4.0 Maturity: An Essential Scale for SMEs	2019	8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM),
18	Brozzi, R., Riedl, M. and Matta, D.	Key Readiness Indicators to Assess the Digital Level of Manufacturing SMEs	2020	– 8th CIRP Global Web Conference – Flexible Mass Customisation,
19	Brozzi, R.; Forti, D.; Rauch, E.; Matt, D.T.	The Advantages of Industry 4.0 Applications for Sustainability: Results from a Sample of Manufacturing Companies	2020	Sustainability (Switzerland)
20	Chakrabarty, A., Norbu, T. and Mall, M.	Fourth industrial revolution: Progression, scope and preparedness in India—Intervention of MSMEs	2020	Vol. 1125Advances in Intelligent Systems and Computing, pp. 221-228
21	Chonsawat, N. and Sopadang, A.	Defining smes' 4.0 readiness indicators	2020	Applied Sciences (Switzerland)
22	De Marco, C.E., Martelli, I. and Di Minin, A.	European SMEs' engagement in open innovation When the important thing is to win and not just to participate, what should innovation policy do?	2020	Technological Forecasting and Social Change
23	Dündar, U., Üney-Yüksektepe, F., Gergin, Z., İlhan, D.A., Gençyılmaz, M.G. and Çavdarlı, A.İ.	Industry 4.0 Score Prediction of Turkish SMEs via Data Classification	2020	Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 25-35
24	Dutta, G., Kumar, R., Sindhwani, R. and Singh, R.K.	Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of Industry 4.0	2020	Competitiveness Review, pp. 289-314

25	Erwin Rauch; Marco Unterhofer; Rafael A. Rojas; Luca Gualtieri; Manuel Woschank; Dominik T. Matt	A Maturity Level-Based Assessment Tool to Enhance the Implementation of Industry 4.0 in Small and Medium-Sized Enterprises	2020	Sustainability
s26	Genest, M.C. and Gamache, S.	Prerequisites for the implementation of industry 4.0 in manufacturing SMEs	2020	Procedia Manufacturing,
27	Ingaldi, M. and Ulewicz, R.	Problems with the implementation of industry 4.0 in enterprises from the SME sector	2020	Sustainability (Switzerland)
28	Isensee, C., Teuteberg, F., Griese, K.-M. and Topi, C.	The relationship between organizational culture, sustainability, and digitalization in SMEs: A systematic review	2020	Journal of Cleaner Production
29	Axmann, B. and Harmoko, H.	Industry 4.0 Readiness Assessment: Comparison of Tools and Introduction of New Tool for SME	2020	TEHNICKI GLASNIK-TECHNICAL JOURNAL
30	Jesus, C. and Lima, R.M.	Literature Search of Key Factors for the Development of Generic and Specific Maturity Models for Industry 4.0	2020	APPLIED SCIENCES-BASEL
31	Mittal, S., Khan, M.A., Purohit, J.K., Menon, K., Romero, D. and Wuest, T.	A smart manufacturing adoption framework for SMEs	2020	International Journal of Production Research
32	Nick, G., Szaller, Á. and Várgedo, T.	CCMS Model: A novel approach to digitalization level assessment for manufacturing companies	2020	16th European Conference on Management, Leadership and Governance, pp. 195-203
33	Ottesjö, B., Nyström, S., Nåfors, D., Berglund, J., Johansson, B. and Gullander, P.	A tool for holistic assessment of digitalization capabilities in manufacturing SMEs	2020	Vol. 93Procedia CIRP, pp. 676-681
34	Pirola, F., Cimini, C. and Pinto, R.	Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research	2020	Journal of Manufacturing Technology Management
35	Rafael, L.D., Jaione, G.E., Cristina, L. and Ibon, S.L.	An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies	2020	Technological Forecasting and Social Change
36	Safar, L., Sopko, J., Dancakova, D. and Woschank, M.	Industry 4.0-Awareness in South India	2020	Sustainability (Switzerland)
37	Zapata, M.L., Berrah, L. and Tabourot, L.	Is a digital transformation framework enough for manufacturing smart products? The case of Small and Medium Enterprises	2020	Vol. 421st International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, ISM 2019, pp. 70-75
38	Amaral, A. and Peças, P.	A framework for assessing manufacturing smes industry 4.0 maturity	2021	Applied Sciences(Switzerland)
39	Bin Rahamaddulla, S.R., Leman, Z., Bin Baharudin, B. and Ahmad, S.A.	Conceptualizing Smart Manufacturing Readiness-Maturity Model for Small and Medium Enterprise (SME) in Malaysia	2021	SUSTAINABILITY

40	Brozzi, R., Rauch, E., Riedl, M. and Matt, D.T.	Industry 4.0 roadmap for SMEs: Validation of moderation techniques for creativity workshops	2021	International Journal of Agile Systems and Management
41	Chaopaisarn, P. and Woschank, M.	Maturity Model Assessment of SMART Logistics for SMEs	2021	Chiang Mai University Journal of Natural Sciences
42	Chonsawat, N. and Sopadang, A.	Smart SMEs 4.0 Maturity Model to Evaluate the Readiness of SMEs Implementing Industry 4.0	2021	Chiang Mai University Journal of Natural Sciences
43	Dündar, U., Üney-Yüksektepe, F., Gergin, Z., Emir, O., Gençyılmaz, G.M. and Çavdarlı, A.İ.	A Decision Support Tool for Classification of Turkish SMEs' Industry 4.0 Score Levels	2021	The International Symposium for Production Research ISPR 2020: Digital Conversion on the Way to Industry 4.0, pp. 264-276
44	Emir, O., Gergin, Z., Üney-Yüksektepe, F., Dündar, U., Gençyılmaz, G.M. and Çavdarlı, A.İ.	A Comparative Sectoral Analysis of Industry 4.0 Readiness Levels of Turkish SMEs	2021	The International Symposium for Production Research ISPR 2020: Digital Conversion on the Way to Industry 4.0, pp. 251-263
45	Estensoro, M., Larrea, M., Müller, J.M. and Sisti, E.	A resource-based view on SMEs regarding the transition to more sophisticated stages of industry 4.0	2021	European Management Journal
46	Karademir, D.M.-B.A.T.D.T.I.4.0.A.S.	A Model-Based Approach to Developing the Industry 4.0 Awareness Scale	2021	Fresenius Environmental Bulletin
47	Lis, M., Jezyna, B., Szkudlarek, E. and Szumial, S.	Readiness of Polish Industrial Enterprises for the Industry 4.0 Revolution	2021	SOCIAL SCIENCES-BASEL
48	Muhamad, M.Q.B., Mohamad, S. and Nor, N.M.	Navigating the future of industry 4.0 in Malaysia: A proposed conceptual framework on SMEs' readiness	2021	International Journal of Advanced and Applied Sciences
49	Okfalisa, Anggraini, W., Nawanir, G., Saktioto and Wong, K.Y.	Measuring the effects of different factors influencing on the readiness of smes towards digitalization: A multiple perspectives design of decision support system	2021	Decision Science Letters
50	Rahamaddulla, S.R.B., Leman, Z., Baharudin, B. and Ahmad, S.A.	Conceptualizing smart manufacturing readiness-maturity model for small and medium enterprise (Sme) in malaysia	2021	Sustainability (Switzerland)
51	Saad, S.M., Bahadori, R. and Jafarnejad, H.	The smart SME technology readiness assessment methodology in the context of industry 4.0	2021	Journal of Manufacturing Technology Management
52	Saad, S.M., Bahadori, R., Jafarnejad, H. and Putra, M.F.	Smart Production Planning and Control: Technology Readiness Assessment	2021	Vol. 180Proceedings Of The 2nd International Conference On Industry 4.0 And Smart Manufacturing (ISM 2020), pp. 618-627
53	Schuh, G., Scheuer, T., Nick, G., Szaller, Á. and Várgedó, T.	A two-step digitalization level assessment approach for manufacturing companies	2021	Procedia Manufacturing

54	Stentoft, J., Wickstrøm, K.A., Haug, A. and Philipsen, K.	Cost-driven motives to relocate manufacturing abroad among small- and medium-sized manufacturers: The influence of Industry 4.0	2021	Journal of Manufacturing Technology Management
55	Stentoft, J., Aadsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K. and Haug, A.	Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers	2021	Production Planning & Control
56	Suleiman, Z., Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S. and Turkyilmaz, A.	Readiness Assessment of SMEs in Transitional Economies: Introduction of Industry 4.0	2021	2nd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management IEIM 2021, pp. 8-13
57	Tortora, A.M.R., Maria, A., Valentina, D.P., Iannone, R. and Pianese, C.	A survey study on Industry 4.0 readiness level of Italian small and medium enterprises	2021	Vol. 180 PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY 4.0 AND SMART MANUFACTURING (ISM 2020), pp. 744-753
58	Yang, Z., Chang, J., Huang, L. and Mardani, A.	Digital transformation solutions of entrepreneurial SMEs based on an information error-driven T-spherical fuzzy cloud algorithm	2021	International Journal of Information Management, pp. 102384
59	Yezhebay, A., Sengirova, V., Igali, D., Abdallah, Y.O. and Shehab, E.	Digital Maturity and Readiness Model for Kazakhstan SMEs	2021	IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)

APÊNDICE D: Influenciadores na adoção de tecnologias em PMEs

FATORES QUE INFLUENCIAM A ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS EM PMES										
	AUTOR	TEMA	Fatores Tecnológicos	Fatores de Estratégia Organizacional	Pressão ou relação externa	Fatores Financeiros	Colaboração Externa	Fatores de Recursos Humanos	Processos, Normas Operações e Infraestrutura física	Liderança e Cultura
1	Moeuf et al., (2018)	Fatores críticos de sucesso de implementação da Indústria 4.0 no que diz respeito ao desempenho industrial de uma PME	-Infraestrutura Organizacional -TI e inovação	-Mudanças na estrutura organizacional -Metas e objetivos claros		-Capacidades Financeiras;	- Uso de consultores;	-Treinamento e educação do usuário;	-Melhoria contínua; - Métricas de desempenho empresarial; - Gerenciamento de Projetos; -Competência da equipe do projeto;	-Cultura Organizacional; - Suporte da alta administração -Conhecimento do processo de negócios;
2	Horvát e Szabó (2019)	Caraterização de fatores que interferem na aplicação de novas tecnologias digitais nos processos de fabricação em PMEs manufatureiras.	- Falta de um unificado protocolo de comunicação; - Falta de sistemas de <i>back-end</i> para integração; - Falta de vontade de cooperar (a nível da cadeia de abastecimento); - Falta de normas da adoção de tecnologia e processos; - Falta de um sistema adequado, comum para pesquisa; - Sistemas inseguros de armazenamento de dados; - A necessidade de grandes quantidades de capacidade de armazenamento;	- Organização inadequada na estrutura e processo da organização;	- Concorrência de mercado; - Seguir as tendências do mercado; - Aumento da pressão da concorrência; - Inovação do modelo de negócio.	- Redução de custos, por exemplo, humanos recursos, inventário custos de gestão e funcionamento; - Falta de recursos financeiros; - Retorno e rentabilidade - Falhas nos sistemas de concursos; - Longo período de avaliação para concursos;		- Interesses contraditórios em diferentes unidades organizacionais; - Resistência dos empregados e gestão intermédia; - Aumento da escassez de mão-de-obra; - Reduzir o trabalho humano; - Atribuição de mão-de-obra a outros áreas (maior valor acrescentado); - Falta de adequação competências e perícia mão-de-obra - Maior tempo de aprendizagem (formação do pessoal)	- Reduzir a taxa de erro; - Melhorar os prazos de entrega (conformidade com o mercado condições); - Melhorar a eficiência; - Assegurar um funcionamento fiável (por exemplo menos tempo de paragem);	- Exigência de maior controlo (da gestão de topo); - Acompanhamento contínuo de desempenho da empresa; - Falta de um líder com aptidões e competências adequadas e experiência; - Falta de planeamento consciente: definição de objetivos, passos e necessidades recursos;

3	Zambon, et al. (2019)			<ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento do gestor. - Compreensão do gestor na abordagem da inovação. 		<ul style="list-style-type: none"> - Investimento digital limitado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Políticas públicas de incentivo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Trabalhadores qualificados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Novos métodos de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> - Novas práticas gerenciais.
4	Birkel, et al (2019)	Estrutura de riscos no contexto da Indústria 4.0, apontando alguns riscos específicos de PMEs.	Infrestrutura tecnológica Proteção de dados Cyber segurança	Características do gestor. Novos modelos de negócios.		Capacidade Financeira	<ul style="list-style-type: none"> - Parcerias 	<ul style="list-style-type: none"> -Pessoal qualificado - Treinamento 	Maquinário antigo Integração técnica	
5	Müller e Voigt (2018)	Desafios da implementação de IoT no contexto da sustentabilidade, pesquisa com PMEs Chinesas e Alemãs	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidades de processamento de dados; - Segurança de dados; -Cooperação: dificuldade de encontrar parceiros e fornecedores para o IoT; 		-Competição: Pressão dos concorrentes	-Recursos financeiros adequados para implementar o IIoT		<ul style="list-style-type: none"> - Falta de pessoal adequado -Perda de empregos após implementação do IoT; 		
6	Mouef et al. (2020)						<ul style="list-style-type: none"> Apoio financeiro direto e apoio indireto para aumentar sua capacidade de inovação 			
7	Masood e Sonntag, (2020)	Fatores chave que determinam a adoção e benefícios de tecnologias da indústria 4.0, no Reino Unido.	<ul style="list-style-type: none"> - Custos de implementação; -Conhecimento Tecnológico; - Tempo de implementação; 	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensão da empresa; - Contagem de empregados; - Volume de Produção - Receitas anuais; - Complexidade de fabricação; 					<ul style="list-style-type: none"> - Vantagem Competitiva; - Qualidade de fabricação - Eficiência Operacional; - Custo de operação; - Flexibilidade operacional; 	<ul style="list-style-type: none"> -Atitude em relação à tecnologia Indústria 4.0; - Nível de implementação;

8	Türkes et al., (2019)	Fatores e barreiras da implementação da tecnologia Indústria 4.0 para desenvolvimento de negócios de PMEs da Romênia		<ul style="list-style-type: none"> - Falta de Conhecimento sobre a Indústria 4.0; - Falta de padrões; - Falta de foco no funcionamento e desenvolvimento da empresa; - Falta de compreensão da Estratégia e da importância da Indústria 4.0; 	<ul style="list-style-type: none"> - Requisitos do cliente; - Pressão dos Concorrentes na Prática da Indústria 4.0 - Requisitos Legais/ Legislação Alterada; 	- Reduzir Custos		<ul style="list-style-type: none"> - Falta de recursos humanos especializados. - Requer educação continuada dos funcionários. 	- Melhoria do Tempo de produção	
9	Ghobakhlo e Ching, (2019)	Fatores determinantes da adoção de SMIDT (Modernas Tecnologias de Informação e Digitais Inteligentes da Indústria 4.0 nas PMEs de manufatura.	<ul style="list-style-type: none"> - Exigência de processamento de informações; - Competência em conhecimentos das tecnologias; 	<ul style="list-style-type: none"> - Roteiro estratégico para a digitalização da manufatura; 	<ul style="list-style-type: none"> - Imposição pelo meio ambiente; - Pressão competitiva; 	- Custos percebidos do SMIDT;			- Percepção da compatibilidade do SMIDT;	- Valor percebido do SMIDT;
10	Neirotti, Ra guseo e Paolucci (2018)	Desenvolvimento de capacidades das PMEs em adotar Tecnologias da Informação e Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de alternativas mais baratas; 	<ul style="list-style-type: none"> - Condições ambientais externas. - Tamanho da organização. 						
11	Kumar, Singh e Dwivedi (2020)	Desafios na adoção das tecnologias I4.0 para operações éticas e sustentáveis em PMEs	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de infraestrutura baseada em TI (Software & Hardware) - Falta de soluções alternativas para a ruptura tecnológica 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de conscientização sobre as contribuições da I4.0; - Falta de suporte gerencial para as tecnologias I4.0; - Falta de recursos dedicados para pesquisa e desenvolvimento em tecnologias I4.0; - Falta de planejamento a longo prazo sobre a adoção das tecnologias I4.0. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de consciência sobre as políticas governamentais para I4.0 - Falta de coordenação e colaboração entre a cadeia de suprimentos Parceiros - Falta de motivações dos clientes sobre a adoção das tecnologias da I4.0; - Medo da incerteza da demanda devido a interrupções do mercado 	<ul style="list-style-type: none"> - O alto custo inicial das tecnologias I4.0; - Falta de fundos para investimento em tecnologias I4.0; 		<ul style="list-style-type: none"> - Falta de mão-de-obra treinada para operações sustentáveis e tecnologias I4.0; - Medo de desemprego/redução na força de trabalho 		

				- Medo de fracasso das tecnologias I4.0						
12	Sevinc et al. (2018)	Fatores de propulsão para a indústria 4.0 adoptadas em PMES Manufatureiras.	- Especialização em TI	- Tamanho da organização	- Apoio externo; - Pressão competitiva; - Desconfiança de benefícios;	-Custo de transição - Custo de manutenção; - Custo de treinando; - Custo de Suporte;		Inovação •Vantagem relativa •Relevância •Reconhecimento •Inteligibilidade	-Complexidade de adoção	-Suporte da alta administração
13	Li, Fast-Berglund, e Paulin (2019)	Estado atual e desafios das PMEs compartilhamento de informações e conhecimentos, no contexto do trabalhador da I4.0								-Capacidade digital; - Comunicação estruturada; - Processamento de informações de autoaprendizagem; - Integração do sistema de informação; - Organização interna orgânica; - Colaboração dinâmica dentro da cadeia de valor - Vontade de mudar; - Colaboração social.
14	Agostini e Nosella, (2019)	Fatores que afetam a adoção de tecnologias avançadas de fabricação, um estudo realizado em PMEs na Europa Central	- Tipo de tecnologia - Internet das Coisas - Cloud Computing - Cybersecurity -Grandes Dados e Análises - Avança Soluções de Fabrico - Realidade Aumentada. -Fabrico de Aditivos - Ferramentas de simulação	-Tipo de atividade de fabricação;		- O montante de investimentos que a empresa já investiu	-Capacidade de procurar informação e conhecimento com outras empresas - Capacidade de procurar informação e conhecimento com Universidades e Centros de estudos - Capacidade de procurar informação e conhecimento com Consultores e fornecedores de tecnologias	- Colaborar uns com os outros para diagnosticar e resolver problemas. - Compartilhamento de informações entre os empregados, -Competência de aprendizados dos empregados		- Apoio da direção do RH e da alta gerência;
15	Matt e Rauch (2020)	Visão geral Indústria 4.0 como a quarta nas PMEs	Falta de adaptabilidade e inovação.		Pressões competitivas					
16	Müller, Buliga e Voigt (2018)	Quadro de motivação com fatores internos e/ou fatores externos que representam pressão para	- Maior conectividade entre empresas; - Co-design das ofertas de valor; - Análise conjunta de dados;			- Contabilidade digital e faturas automatizadas - Aumento da fiabilidade dos pagamentos - Documentação de pagamento simplificada		- Atenuação da escassez de postos de trabalho na indústria transformadora, embora provável	Produtos - Aumento de produtividade - Economia de energia - Balanceamento de carga	

		implementação da indústria 4.0 em PMEs manufatureiras	<ul style="list-style-type: none"> - Maior transparência na informação; - Maior fiabilidade na entrega; - Parcerias inovadoras; - Aumento do contacto virtual; - É necessária uma maior padronização; 			<ul style="list-style-type: none"> - Aumento dos modelos de assinatura, pay-per-use e pay-per-feature; 		<ul style="list-style-type: none"> escassez de pessoal qualificado na indústria 4.0 - Melhor integração de pessoal menos qualificado e idoso - Novos perfis profissionais - Novos locais de trabalho - São necessários conhecimentos técnicos superiores e formação dos funcionários - Formações de base tecnológica - Apoio no reconhecimento de falhas - Diminuição do número de postos de trabalho na manufatura 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior resistência a falhas do equipamento de produção - Acesso rápido aos dados de fabricação - Monitorização da saúde da máquina - Produção auto-controlada - Aumento da produção interna - Estoques inferiores - Manutenção mais fácil da produção - Modernização das máquinas antigas - Serviços - Monitorização do estado da fabricação - Manutenção remota - Serviços de digitalização para clientes - Serviços de análise de dados - Simulações de fabricação de produtos - Desenvolvimento de produto virtual - Serviços de engenharia e configuração de produtos 	
17	Vrchota, Volek e Novotná (2019)	Fatores impulsivos e limitativos que afetam a introdução da Indústria 4.0 para PMEs. na República Checa.	Máquina <ul style="list-style-type: none"> - Segurança de dados; - Cadeia de produção, - Nível de TI, -Localização ideal. - Disponibilidade do serviço - Quantidade de produto/máquina - Serviços. 			Planejamento Financeiro <ul style="list-style-type: none"> - Fonte de financiamento - Gestão do risco - Eficiência (retorno do investimento) 	Fatores Externos <ul style="list-style-type: none"> -Desenvolvimento - Mercado, - Governo, - Concorrência - Ecologia 	Empregados <ul style="list-style-type: none"> - Recrutamento - Desenvolvimento, - Terceirização - Competência. 	Gestão de Processos <ul style="list-style-type: none"> - Personalidade de um gestor. - Sustentabilidade. - Definição de processos. - CSR - Sistema de Recompensa. - Know-How - Ideias (conhecimento tácito) 	

									- Possibilidade de mercado - Possibilidade de integração	
18	Bär et al (2018)	Benefícios da Indústria 4.0 na cadeia de suprimento de PMEs	Transparência de processos e disponibilidade de dados em tempo real.	.	Análise de dados do cliente Independência do cliente				Grau de personalização do produto, Integração das partes interessadas ao longo da cadeia de fornecimento, Flexibilidade de fabricação, Nível de interação humana em tarefas rotineiras e automatização Nível de inventário,	
19	Kamble, et al (2020)	Benefícios dos sistemas de manufatura inteligente em comparação com um sistema de manufatura tradicional.							- Redução dos custos de fabricação; - Melhoria na qualidade; - Melhoria na produtividade; - Aumento da Flexibilidade. - Redução de tempo de produção;	-Melhoria no ambiente de trabalho,
20	Garzoni et al. (2020)	O artigo examina o capacitação da I4.0, no contexto de um programa de inovação de PME						- Apoio do governo - Apoio de rede de cooperação - Apoio em projetos pilotos de transformação		- Cultura Inovadora
21	Stentoft et al (202)			Estratégia: - Estratégia consciente em torno da indústria 4.0, - Exigências do cliente, para reduzir custos, - Aumento da competitividade,	Obstáculos Legislação/normas: - Falta de legislação específica - Dificuldades com legislações específicas	Exigências do cliente	Sistema de assessoramento público: Trabalho iniciado com a contribuição do sistema de assessoramento público;		Redução de custos;	Administração: - Falta de compreensão da importância estratégica da indústria 4.0, - Poucos recursos financeiros, - Falta de mão de obra qualificada - Falta de foco em pesquisa e desenvolvimento da empresa,

APÊNDICE E: Questionário teste para avaliação de prontidão de PMEs para a transformação digital

Questionário para Identificação dos desafios para transformação digital em PMEs

Email:

Com relação a localização da Empresa

Cidade:

Estado:

Com relação ao ramo de atividade de sua empresa:

Indústria

Comércio

Prestação de serviços

Com relação ao tamanho da empresa

Número de funcionários

EIXO 1 - IDENTIFICAÇÃO DOS DESAFIOS RELACIONADOS AO EIXO PESSOAS**1.1 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de treinamento para a Indústria 4.0 ou transformação digital.**

- a) A falta de treinamento para a Indústria 4.0 ou transformação digital é desconhecida ou irrelevante para a empresa.
- b) A empresa possui falta de treinamento para a Indústria 4.0 ou transformação digital.
- c) A empresa não possui falta de treinamento para a Indústria 4.0 ou transformação digital.

1.2. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de cultura de mudança.

- a) A falta de cultura de mudança desconhecida ou irrelevante.
- b) A empresa possui falta de uma cultura de mudança.
- c) A empresa não possui falta de uma cultura de mudança.

1.3. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de apoio de especialista em Indústria 4.0 ou transformação digital.

- a) A falta de apoio de especialista para a Indústria 4.0 ou transformação digital é desconhecida ou irrelevante.
- b) A empresa possui falta de um especialista em Indústria 4.0 ou transformação digital.
- c) A empresa não possui falta de um especialista em Indústria 4.0 ou transformação digital.

1.4. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de incentivo para a mão de obra com competência.

- a) A falta de incentivo para a mão de obra com competência para Indústria 4.0 ou transformação digital é desconhecida ou irrelevante.
- b) A empresa possui falta de incentivo para a mão de obra com competência para Indústria 4.0 ou transformação digital
- c) A empresa não possui falta de incentivo para a mão de obra com competência para Indústria 4.0 ou transformação digital

1.5. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação falta de mão de obra especializada.

- a) A falta de mão de obra especializada em transformação digital ou Indústria 4.0 é desconhecida ou irrelevante.
- b) A empresa possui falta de mão de obra especializada em transformação digital ou Indústria 4.0.
- c) A empresa não possui falta de mão de obra especializada em transformação digital ou Indústria 4.0.

EIXO 2: IDENTIFICAÇÃO DOS DESAFIOS RELACIONADOS A DIMENSÃO ORGANIZAÇÃO.

2.1. Assinale a opção que acontece com relação as suas características como gestor (proprietário).

2.1.1 Com relação ao seu conhecimento sobre transformação digital e Indústria 4.0.

- a) Não tenho conhecimentos sobre Indústria 4.0 e suas tecnologias.
- b) Não tenho conhecimento, no entanto gostaria de aprender sobre o tema.
- c) Tenho conhecimento e estou estudando sobre o tema atualmente.

2.1.2 Com relação a sua flexibilidade com relação a mudanças no processo de transformação digital e Indústria 4.0.

- a) Desconheço ou considero a transformação digital ou Indústria 4.0 irrelevantes.
- b) Não gostaria que a transformação digital e a Indústria 4.0 produzissem mudanças na minha empresa.
- c) Sou flexível com relação as mudanças que a transformação digital e a Indústria 4.0 proporcionarão para minha empresa, e consigo receber bem essas mudanças.

2.1.3 Com relação a sua atitude a transformação digital ou Indústria 4.0.

- a) Desconheço ou considero a transformação digital ou Indústria 4.0 irrelevantes.
- b) Não tenho uma visão favorável com relação a transformação digital e a Indústria 4.0.
- c) Tenho uma visão favorável com relação a transformação digital e a Indústria 4.0.

2.1.4 Com relação ao seu entendimento dos benefícios e da rentabilidade da transformação digital e Indústria 4.0.

- a) Desconheço ou considero a transformação digital ou Indústria 4.0 irrelevantes.
- b) Não espero nenhum benefício ou rentabilidade com relação a transformação digital ou Indústria 4.0.
- c) Espero benefícios e rentabilidade com relação a transformação digital ou Indústria 4.0.

2.1.5 Com relação ao medo da transformação digital e Indústria 4.0.

- a) Desconheço ou considero a transformação digital ou Indústria 4.0 irrelevantes.
- b) Não estou seguro de que um projeto de transformação digital para a empresa possa ser implementado com sucesso.
- c) Estou seguro de que um projeto de transformação digital para a empresa poderá ser implementado com sucesso.

2.2 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação ao apoio externo ao gestor ou proprietário, especializado em transformação digital ou Indústria 4.0.

- a) Para a empresa o apoio externo ao gestor ou proprietário, especializado em transformação digital ou Indústria 4.0 é desconhecido ou irrelevante.
- b) A empresa não possui apoio externo ao gestor ou proprietário, especializado em transformação digital ou Indústria 4.0

c) A empresa possui apoio externo ao gestor ou proprietário, especializado em transformação digital ou Indústria 4.0

2.3. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação ao Líder 4.0 para a Indústria 4.0.

a) Para a empresa o Líder 4.0 para transformação digital ou Indústria 4.0 é desconhecido ou irrelevante.

b) A empresa não possui um Líder 4.0 para a transformação digital ou Indústria 4.0.

c) A empresa possui um Líder 4.0 de transformação digital ou Indústria 4.0.

2.4. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação falta de padronização dos processos.

a) Não há padronização dos processos na empresa e a empresa não considera importante.

b) Não há padronização dos processos na empresa, no entanto a empresa considera importante.

c) Os processos da empresa são padronizados.

IDENTIFICAÇÃO DOS DESAFIOS RELACIONADOS A DIMENSÃO TECNOLOGIA.

3.1. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação falta de soluções menos complexas e específicas para a transformação digital de sua empresa.

a) A empresa não necessita de soluções tecnológicas.

b) A empresa necessita de soluções tecnológicas e considera as soluções tecnológicas do mercado complexas e que não atendem suas necessidades, sem possibilidade de adaptação.

c) A empresa necessita de soluções tecnológicas e está desenvolvendo suas próprias soluções tecnológicas ou está se adaptando as soluções do mercado.

3.2. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação falta de capacidade de armazenamento e exploração de dados.

a) Para a empresa é desconhecido ou irrelevante a capacidade de armazenamento e exploração de dados

b) A empresa possui falta de capacidade de armazenamento e exploração de dados.

c) A empresa não possui falta de capacidade de armazenamento e exploração de dados.

3.3. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação falta de infraestrutura de software e hardware.

a) Para a empresa é desconhecido ou irrelevante a falta de infraestrutura de software e hardware.

b) A empresa possui falta de infraestrutura de software e hardware.

c) A empresa não possui falta de infraestrutura de software e hardware.

3.4. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação falta de compartilhamento de informações.

a) Para a empresa é desconhecido ou irrelevante a falta de compartilhamento de informações.

b) A empresa possui falta de compartilhamento de informações.

c) A empresa não possui falta de compartilhamento de informações.

3.5. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação falta de atualização de maquinário.

a) Para a empresa é irrelevante a falta de atualização de maquinário.

- b) A empresa possui falta de maquinário atualizado.
- c) A empresa possui o maquinário atualizado.

IDENTIFICAÇÃO DOS DESAFIOS RELACIONADO A DIMENSÃO ESTRATÉGIA.

4.1. Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a estratégia de longo prazo com um roteiro de transformação

- a) Para a empresa é desconhecido ou irrelevante uma estratégia de longo prazo com um roteiro de transformação.
- b) A empresa não possui uma estratégia de longo prazo e com um roteiro de transformação.
- c) A empresa possui uma estratégia de longo prazo, com um roteiro de transformação.

4.2 Com relação ao tamanho das empresas, marque a opção que corresponde ao faturamento anual da empresa.

- a) Menor ou igual a R\$ 360 mil.
- b) Maior que R\$ 360 mil e menor ou igual a R\$ 4,8 milhões.
- c) Maior que R\$ 4,8 milhões e menor ou igual a R\$ 300 milhões.

4.3 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a investimentos em inovação e pesquisa.

- a) A empresa não considera importante investir em inovação e pesquisa.
- b) A empresa não possui recursos para investimento em inovação e pesquisa.
- c) A empresa investe periodicamente em inovação e pesquisa.

4.4 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de recursos para a implantação de novas tecnologias.

- a) A empresa não considera importante investir em implantação de novas tecnologias.
- b) A empresa não possui recursos para investimento em implantação de novas tecnologias.
- c) A empresa investe periodicamente na implantação de novas tecnologias.

4.5 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de recursos para a manutenção e suporte técnico das tecnologias.

- a) A empresa não considera importante investir em manutenção e suporte técnico das tecnologias.
- b) A empresa não possui recursos financeiros para investimento em manutenção e suporte técnico das tecnologias.
- c) A empresa investe periodicamente recursos financeiros para a manutenção e suporte técnico de novas tecnologias.

4.6 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de recursos para treinamentos.

- a) A empresa não considera importante investir em treinamentos para transformação digital ou Indústria 4.0.
- b) A empresa não possui recursos financeiros para investimento em treinamentos para transformação digital ou Indústria 4.0.
- c) A empresa investe recursos financeiros periodicamente em treinamentos para transformação digital ou Indústria 4.0.

4.7 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de recursos financeiros já investidos.

- a) Nunca houve investimento de recursos financeiros para a transformação digital e a empresa não considera importante investir.
- b) Nunca houve investimento de recursos financeiros para a transformação digital, mas a empresa considera importante investir.
- c) A empresa já investiu recursos financeiros para a transformação digital e considera importante investir.

4.8 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de financiamento.

- a) A empresa não tem recursos financeiros próprios para investimento em transformação digital e não necessita de financiamento pois considera a transformação digital desnecessária.
- b) A empresa não tem recursos financeiros próprios e não conseguiu obter financiamento para investimento em transformação digital.
- c) A empresa conseguiu obter financiamento ou investe recursos financeiros próprios na transformação digital.

4.9 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a incerteza com a rentabilidade.

- a) A empresa desconhece o grau de incerteza em relação rentabilidade de um investimento em transformação digital.
- b) A empresa considera alto o grau de incerteza em relação à rentabilidade de um investimento em transformação digital.
- c) A empresa considera muito o grau de incerteza em relação à rentabilidade de um investimento em transformação digital.

4.10 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação ao alto custo das tecnologias.

- a) A empresa desconhece o custo das tecnologias para a transformação digital.
- b) A empresa considera alto custo das tecnologias para transformação digital.
- c) A empresa considera baixo o custo das tecnologias para transformação digital.

4.11 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a falta de parcerias com entidades participantes do ambiente em que está inserida.

- a) A empresa não considera importante parcerias com entidades participantes do ambiente em que está inserida.
- b) A empresa considera importante parcerias com entidades participantes do ambiente em que está inserida, no entanto no momento não possui parcerias.
- c) A empresa possui parcerias de parcerias com entidades participantes do ambiente em que está inserida.

4.12 Assinale a opção que acontece na empresa no momento, com relação a cooperação com parceiros do ambiente em que está inserida.

- a) A empresa não considera importante para o processo de transformação, cooperar com os seus parceiros do ambiente que está inserida.
- b) A empresa considera importante para o processo de transformação, cooperar com os seus parceiros do ambiente que está inserida, no entanto atualmente não está cooperando com estes parceiros.
- c) A empresa considera importante sempre cooperar com os parceiros do ambiente que está inserida e coopera sempre com estes parceiros.