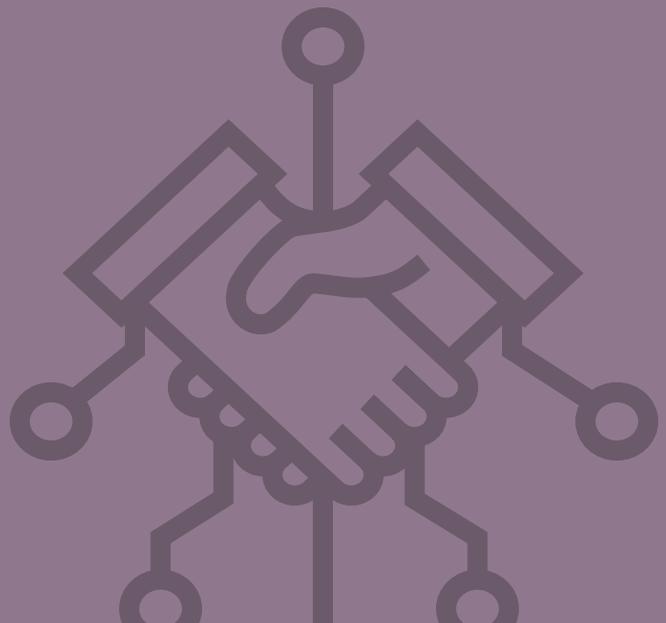




Indústria 4.0

Mapeamento das principais metodologias de aproximação entre o setor produtivo e as tecnologias 4.0





cgée

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Indústria 4.0

Mapeamento das principais metodologias de aproximação entre o setor produtivo e as tecnologias 4.0



© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como Organização Social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento.

DIRETOR-PRESIDENTE

Marcio de Miranda Santos (até 28/02/2022)

Fernando Cosme Rizzo Assunção (a partir de 01/03/2022)

DIRETORES

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior

Regina Maria Silverio

EDIÇÃO | *Danúzia Queiroz/Contexto Gráfico*

DIAGRAMAÇÃO, CAPA E INFOGRÁFICOS | *Contexto Gráfico*

PROJETO GRÁFICO | *Núcleo de design gráfico do CGEE*

COORDENAÇÃO DA COMUNICAÇÃO INTEGRADA | *Jean Marcel da Silva Campos*

Catálogo na Fonte

C389m

Indústria 4.0; Mapeamento das principais metodologias de aproximação entre o setor produtivo e as tecnologias 4.0. (Série Documentos Técnicos, 32). Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2022.

98 p.

ISBN 978-65-5775-025-4

1. Indústria 4.0. 2. Desenvolvimento tecnológico. 3. Inovação.
4. Setor Produtivo. 5. Brasil. I. CGEE. II. Título.

005.591.6:67 (81)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, SCS Qd 9, Bl. C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate, 70308-200, Brasília, DF, Telefone: (61) 3424.9600

@CGEE_oficial | <http://www.cgee.org.br> | @CGEE

@CGEE_oficial | @Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Referência bibliográfica:

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Indústria 4.0; Mapeamento das principais metodologias de aproximação entre o setor produtivo e as tecnologias 4.0.** (Série Documentos Técnicos, 32). Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2022. 98 p.

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas pelo CGEE no âmbito do 2º Contrato de Gestão firmado com o MCTI. Atividade - Subsídios Técnicos para a Gestão Estratégica do SNCTI. Subsídios para as Câmaras 4.0, inclusive quanto aos seus impactos na transformação digital no Brasil. Projeto - 8.10.53.05.52.03

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos neste documento poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.



Indústria 4.0

Mapeamento das principais metodologias de aproximação entre o setor produtivo e as tecnologias 4.0

SUPERVISÃO

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior

EQUIPE TÉCNICA DO CGEE

Verena Hitner Barros (Líder de projeto)

Mayra Juruá Gomes de Oliveira

Thiago Silveira Gasser

Jackson Maia

Lucas Varjão Motta

CONSULTORIA

Kamila Aben Athar

GRUPO DE TRABALHO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO DA CÂMARA TÉCNICA DA INDÚSTRIA 4.0

Eliana Emediato (MCTI)

Felipe Bellucci (MCTI)

Marcondes Moreira de Araújo (MCTI)

Klaus Schutzer (PGEPR/UFABC)

Luís Gustavo Delmont (Senai)

Victor Venâncio Loureiro Dias (Abinc)



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Onde o futuro está presente



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
INTRODUÇÃO	9
1. MATRIZ TECNOLÓGICA	11
2. DELTA OPPORTUNITY	19
3. SMART SPECIALIZATION (RIS3)	25
4. MODELOS DE MATURIDADE	31
4.1. Modelos	33
4.2. Dimensões de análise	38
4.3. Subdimensões, perguntas associadas e método de cálculo	42
4.4. Perguntas associadas	43
4.5. Métrica	45
5. QUESTIONÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0	51
5.1. Principais resultados	51
REFERÊNCIAS	59
ANEXOS	75



LISTA DE FIGURAS	94
LISTA DE TABELAS	95
SIGLAS E ABREVIATURAS ENCONTRADAS NESTA PUBLICAÇÃO	96



APRESENTAÇÃO

Este estudo é proveniente do projeto **Subsídios para a Câmara Brasileira da Indústria 4.0**, uma iniciativa da Câmara da Indústria 4.0. A coordenação desta Câmara é feita pelo Ministério da Economia (ME) e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), com a participação de atores do setor público e de representantes dos setores industriais e da academia.

O projeto busca elaborar estudos estratégicos a fim de acelerar a transformação digital na indústria brasileira, por meio de proposições de ações para impulsionar as atividades da Câmara, contribuindo para o aprimoramento e para a produção de políticas públicas. A adoção de tecnologias 4.0 pelo setor industrial é tema prioritário, porém permeado por múltiplos desafios para sua implementação.

Entre os desafios do setor industrial brasileiro elencados pela Câmara da Indústria 4.0 estão as necessidades de:

- Aumentar a competitividade e a produtividade das empresas brasileiras por meio da Indústria 4.0.
- Melhorar a inserção do Brasil nas cadeias globais de valor.
- Introduzir o uso de tecnologias da Indústria 4.0 nas pequenas e médias empresas.
- Garantir instrumentos para que soluções de empresas de base tecnológica, *startups* e integradoras possam ser ofertadas e disponibilizadas diretamente às empresas.
- Assegurar estabilidade e volume de recursos a custo adequado para a implementação de iniciativas para a Indústria 4.0.
- Identificar e desenvolver soluções para a Indústria 4.0 adequadas às empresas do parque produtivo brasileiro.
- Evitar a sobreposição de esforços individuais de instituições públicas e privadas e pulverização de recursos para solucionar necessidades e demandas da Indústria 4.0 no Brasil.

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) vem oferecendo contribuições à Câmara da Indústria 4.0, fornecendo subsídios para superar os entraves observados pelos membros e buscando facilitar a formulação de iniciativas voltadas para a adoção de tecnologias 4.0 pela indústria



brasileira. Por meio de estudos estratégicos, o CGEE espera aumentar o conhecimento dos atores sobre as necessidades do setor, bem como promover os incrementos necessários para o futuro.

Desse modo, O CGEE e a Câmara da Indústria 4.0 esperam, com este conteúdo, contribuir para o melhoramento do cenário do setor industrial brasileiro, promovendo maior produtividade, competitividade e desenvolvimento econômico.

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior

Diretor do CGEE



INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial é uma evolução que ocorre em todo o globo e tem o potencial de moldar uma economia global com uma produção mais eficiente e sustentável.

Viabilizar a utilização das novas tecnológicas pela indústria nacional é uma das atividades mais estratégicas para o Estado atualmente. Pequenas e médias empresas (PME) são também um dos pontos centrais e críticos da maioria das estratégias nacionais, em particular pelo seu papel nas cadeias de valor (CGEE, 2020).

A fim de discutir essas novas tecnologias e tomar decisões sobre elas, a Câmara Brasileira da Indústria 4.0 (Câmara I4.0) solicitou ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) a elaboração de duas notas técnicas que buscassem estabelecer, por um lado, o estado da arte das discussões sobre tais tecnologias e, por outro, as principais metodologias utilizadas para mapeá-las.

Assim, neste segundo documento, mapearam-se as principais metodologias de aproximação entre as necessidades do setor industrial e as tecnologias críticas e habilitadoras para atender a tais demandas industriais: a matriz tecnológica do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a *Delta Opportunity* da Fundação do Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (Certi) e a *Smart Specialization* utilizada pela Comunidade Europeia. Em contrapartida à atenção dada às tecnologias, apresenta-se o modelo de maturidade que tem como objetivo identificar o nível de desenvolvimento das capacidades da empresa em incorporar as tecnologias associadas à indústria 4.0. Dessa forma, tem-se um olhar não apenas para as tecnologias e as demandas industriais, mas também para o que precisa ser desenvolvido para que a realidade das empresas possa ser modificada por tecnologias e conceitos da indústria 4.0.



1. MATRIZ TECNOLÓGICA

Elaborada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a matriz tecnológica relaciona as chamadas bases de conhecimento ou tecnologias habilitadoras (*key technologies*) e os setores que seriam os seus principais demandantes. Essa visão matricial permite a identificação das bases de conhecimento mais transversais e dos setores mais diversificados do ponto de vista tecnológico, bem como as sinergias entre os diversos setores. Sendo assim, identifica-se onde seria possível priorizar simultaneamente o desenvolvimento tecnológico (a política de inovação) e o desenvolvimento da competitividade dos setores (a política industrial) (MIGUEZ *et al.*, 2018).

Uma das características dessa metodologia refere-se ao ponto de partida utilizado para a identificação das tecnologias promissoras. Ao contrário de outras propostas, aqui parte-se da análise dos setores buscando visualizar e entender quais tecnologias estão sendo desenvolvidas para atender a tais demandas setoriais, ao invés de uma avaliação sobre os potenciais usos que uma tecnologia poderia ter no setor, ou simplesmente sobre como os participantes de uma dada indústria enxergam certa tecnologia. Outra especificidade importante é que essa metodologia busca olhar para os setores e a sinergia entre eles, em oposição à opção de tomar os setores de forma independente e traçar diagnósticos e soluções independentes, promovendo uma visão ampla de soluções que podem ser aplicadas a diversos setores ao mesmo tempo.

Como destacado por Miguez *et al.* (2018), a metodologia toma como referência Andreoni (2017) e, por consequência, compartilha de algumas premissas básicas: i) a unidade de análise deve ser a indústria vista em seu conjunto, e não apenas com seus setores de forma isolada; ii) a política de inovação e a política industrial devem ser tratadas de forma articulada; e iii) deve-se utilizar como base o conceito de tecnologias habilitadoras (bases de conhecimento) e desafios a serem superados.

Ainda que mantendo o espírito do arcabouço original, foram implementadas algumas distinções metodológicas para construção da matriz tecnológica. Ao invés de partir das tecnologias habilitadoras, partiu-se diretamente das tecnologias, adotando, assim, um modelo em que foram construídas as agregações que compõem as linhas da matriz tecnológica a partir da lista de tecnologias encaminhada. Já, no caso das colunas da matriz tecnológica, não foi adotado o



recorte de *cadeias de valor*, mas sim a divisão clássica da indústria em seus segmentos *consagrados*. Ademais, a taxonomia adotada no estudo foi denominada *bases de conhecimento*, as quais buscam unir tecnologias ou aplicações que partem de um conjunto de necessidades similares, e foram nomeadas a partir de conceitos e nomenclaturas que expressassem bem o conjunto de tecnologias contidas numa mesma base (MIGUEZ *et al.*, 2018).

A aplicação prática da metodologia passa por um estágio de identificação de: i) setores e tecnologias a serem avaliados; ii) construção do questionário e pesos a serem atribuídos a critérios pré-selecionados; iii) identificação de especialistas setoriais e/ou de tecnologias e aplicação de questionário; iv) construção de taxonomia setorial e de tecnologia apropriada; e v) avaliação e apresentação dos resultados.

A primeira etapa refere-se, então, à definição dos setores e tecnologias a serem avaliados. Ainda que Miguez *et al.* (2018) não deixem clara a abordagem tomada, entende-se que as tecnologias podem ser tomadas como uma lista fechada, aberta ou uma combinação das duas estratégias, em que se apresenta uma lista inicial de tecnologias e permite-se a introdução de outras não contempladas. O mesmo tipo de estratégia pode ser adotado para a delimitação dos setores analisados, mas, em qualquer dos casos, essa definição deve estar alinhada ao objetivo do estudo.

No que se refere à construção do questionário, Miguez *et al.* (2018) indicam que foram aplicadas questões no intuito de identificar os desafios enfrentados pelos setores e as tecnologias desenvolvidas com potencial de mitigá-los. Adicionalmente, o formulário inclui perguntas a respeito das expectativas de tamanho do impacto e sobre o horizonte temporal para que ele aconteça, conforme Tabela 1. Cabe ressaltar que, enquanto as três primeiras questões são abertas, as duas últimas são fechadas e de escolha única. No que se refere às questões fechadas, são atribuídos pesos que permitirão a agregação ponderada da perspectiva de importância da tecnologia para determinado setor.



Tabela 1 – Campos do Formulário da Matriz Tecnológica

CAMPO	DESCRIÇÃO DO CAMPO
TECNOLOGIA	Inovação de produto ou de processo, não necessariamente disruptiva, que está sendo desenvolvida.
DESAFIO	Qual é o desafio que a tecnologia busca enfrentar (ex.: aumento da produtividade, reduzir o impacto ambiental, segurança nacional, etc.).
SETOR	Em qual setor a referida tecnologia será aplicada.
PRAZO ESPERADO DE IMPLANTAÇÃO	Por prazo de implantação, adotou-se o conceito de quando a tecnologia estará difundida em parcela relevante do mercado, a ponto de os impactos esperados já serem percebidos. Foram adotados como referência os seguintes prazos: i) curto (até 2022); ii) médio (até 2030); e iii) longo (após 2030).
IMPACTO ESPERADO	Foram adotados três referenciais de impacto: i) moderado, quando a tecnologia é importante, mas muda apenas marginalmente a organização e/ou a forma de produzir no setor; ii) elevado, quando a tecnologia traz grandes mudanças/avanços na organização e/ou na forma de produzir no setor; e iii) disruptivo, quando a tecnologia é capaz de mudar paradigmas do setor, introduzindo novas categorias de produtos e novas formas de produzir bem diferentes das vigentes.

Fonte: Miguez *et al.* (2018).

Foi criado, então, um algoritmo simples, mas multicritério, que ponderou as tecnologias por meio de pontos, segundo a intensidade tecnológica de cada setor (número de tecnologias apontadas para aquele setor). Foram utilizados dois critérios em cada tecnologia. O primeiro foi o prazo esperado para sua implantação: i) curto, três pontos; ii) médio, dois pontos; e iii) longo, um ponto. O segundo critério foi o impacto esperado: i) moderado, um ponto; ii) elevado, três pontos; e iii) disruptivo, cinco pontos. Assim, as tecnologias mais valorizadas são aquelas de impacto disruptivo e prazo de implantação já curto (oito pontos), enquanto as tecnologias menos valorizadas são aquelas de impacto moderado e prazo de implantação longo (dois pontos). Além disso, pode-se observar que se atribuiu um peso maior ao impacto esperado da tecnologia, ou seja, entendeu-se que as tecnologias cuja expectativa seja gerar grandes impactos devem ter mais atenção na formação da matriz (e de políticas derivadas) relativamente àquelas tecnologias que simplesmente já estejam a ponto de serem implementadas (MIGUEZ *et al.*, 2018). Por fim, somam-se os pontos das tecnologias para cada base de conhecimento em cada setor.

Ao ser construído o questionário e os pesos, a implementação do método passa pela identificação dos especialistas a serem convidados a responder. Ressalta-se aqui a importância da participação equilibrada de especialistas por setores, visto que o método não prevê uma compensação para



tal fator. Adicionalmente, o envolvimento de um número elevado e heterogêneo de respondentes pode ser desejado dependendo do objetivo do estudo. Como mencionando anteriormente, Miguez *et al.* (2018) consideraram a opinião de 16 especialistas integrantes das equipes setoriais do BNDES.

Tendo em mãos os dados finais dos respondentes, alguns ajustes são aplicados no que tange à agregação dos dados e à taxonomia dos setores e tecnologias. Dois níveis de agregação foram construídos para compilar as informações das tecnologias e suas aplicações: i) nível de divulgação, chamado de Bases de conhecimento – nível 1, para ser usado na divulgação pública da matriz tecnológica; ii) nível de trabalho, chamado de Bases de conhecimento – nível 2, para ser usado eventualmente, contando com maior nível de detalhe e que pode ser usado para desenhos específicos de políticas e instrumentos (MIGUEZ *et al.*, 2018), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Bases de conhecimento da matriz tecnológica

BASES DE CONHECIMENTO	
NÍVEL DE DIVULGAÇÃO	NÍVEL DE TRABALHO
Análises avançadas	Algoritmos e programação
	Inteligência artificial e <i>big data</i>
	Modelagem e simulação
Biotecnologia	Bioinsumos e biomateriais
	Bioprocessos
	Células-tronco
	Genética e genômica
Eletrônica e ótica avançadas	Eletrônica avançada
	Ótica e optoeletrônica
	Sensores
Manufatura-padrão e avançada	Manufatura híbrica/aditiva
	Equipamentos e dispositivos, exceto robótica
	Engenharia de processos
	Robótica
	Sistemas de controle e monitoramento



BASES DE CONHECIMENTO	
NÍVEL DE DIVULGAÇÃO	NÍVEL DE TRABALHO
Materiais avançados	Grafeno
	Materiais compósitos
	Novas ligas metálicas
	Outros materiais
Nanotecnologia	Nanotecnologia
Processos físicos-químicos	Processos mecânicos
	Processos químicos
Redes de comunicação	Softwares para redes de comunicação
	Hardwares para redes de comunicação
Sistemas de energia	Armazenamento de energia
	Geração e recuperação de energia
	Stamart grid

Fonte: Miguez *et al.* (2018).

No que se refere aos setores a serem considerados, diferentes níveis de desagregação e de abrangência podem ser considerados, dependendo dos objetivos do estudo que se pretende desenvolver. Miguez *et al.* (2018) se valem da estrutura organizacional do BNDES, que divide os especialistas por setores de atuação, e definem como setores alguns daqueles contemplados pela instituição. No entanto, quanto maior a desagregação, maior o número de especialistas necessários para responder ao questionário e maior o esforço que eles precisarão empreender no preenchimento das informações, com consequências para os resultados do estudo.

A última etapa da metodologia de construção da matriz tecnológica foi definir como as informações entre tecnologias e setores seriam relacionadas entre si para formar a parte interna da matriz. Nesse sentido, soma-se a pontuação das bases de conhecimento no setor, e realiza-se uma normalização de forma que as colunas (setores) somem 100%. Essa métrica indica, dessa forma, o peso relativo da tecnologia dentro do setor, permitindo identificar o conjunto de tecnologias que mais se destacam segundo uma classificação de relevância. Entretanto, Miguez *et al.* (2018) não apresentam os limites para o enquadramento das tecnologias nas faixas de relevância. O resultado da análise é representado pela Figura 1.



Bases de conhecimento	Setores																
	Complexo agroalimentar	Forestal	Mineração	P&G	Biocombustíveis	Celulose	Papel	Indústria química	Medicamentos e vacinas	Têxtil e confecção	Siderurgia/Metalurgia	Cimento	Eletrônica	Automotivo	Varejo	Saúde, equipamentos e materiais para	Aeroespacial e defesa
Análise avançada																	
Biotecnologia																	
Eletrônica e ótica avançada																	
Manufatura-padrão e avançada																	
Materiais avançados																	
Nanotecnologia																	
Processos físico-químicos																	
Redes de comunicação																	
Sistemas de energia																	

Legenda:

- Base de conhecimento não identificada para o setor
- Base de conhecimento bastante relevante para o setor
- Base de conhecimento relevante para o setor
- Base de conhecimento extremamente relevante para o setor

Figura 1 – Matriz tecnológica

Fonte: Miguez *et al.* (2018).

Após a construção da matriz tecnológica, é possível salientar alguns resultados sobre os desafios apontados e as bases de conhecimento mais destacadas, que, na verdade, ilustram o potencial analítico da ferramenta. A matriz permite uma leitura por meio das linhas mostrando como as tecnologias se difundem pelos diversos setores. Pelas colunas é possível observar quais setores tem maior capacidade de absorção de bases de conhecimento (MIGUEZ *et al.*, 2018, p. 15).

Vale considerar, entre outros, alguns pontos sobre os resultados que se pode obter da matriz: i) os resultados podem ser bastante sensíveis à agregação de bases de conhecimento realizadas, de forma que agregações não equilibradas tendem a induzir relevância elevada aos grupos mais amplos; ii) apesar de poder ser considerada para a elaboração de políticas industriais e tecnológicas, o método não compara diretamente diversas variáveis estratégicas ou critérios que podem definir a adoção de uma tecnologia, como os custos e as capacidades envolvidos na implementação por parte das empresas; e iii) como todo método que se fundamenta na opinião de especialistas, a extrapolação dos resultados deve levar em consideração as características dos respondentes e sua representatividade.



Após a elaboração da matriz tecnológica, o passo seguinte foi identificar alguns elementos estruturais que definem as condições que atualmente moldam o potencial de desenvolvimento e absorção tecnológico no Brasil. Foram definidas quatro camadas de análise: 1) a estrutura industrial; 2) a infraestrutura de ciência, tecnologia e inovação (CT&I); 3) o arcabouço regulatório; e 4) os instrumentos de fomento e financiamento. Essas dimensões condicionam e definem eventuais restrições e oportunidades para o desenvolvimento tecnológico bem como podem reconfigurar segmentos e cadeias criando oportunidades para os setores. Sendo assim, a junção dessas duas óticas, da matriz tecnológica e do ambiente institucional, permite a construção de uma agenda tecnológica, que é simultaneamente de política de inovação e de política industrial (MIGUEZ *et al.*, 2018).

Nesse sentido, foram elaboradas questões abertas com o objetivo de caracterizar o quadro de cada setor sob o ponto de vista de cada camada de análise. O conteúdo dessas questões foi analisado de forma a identificar problemas comuns aos setores e, assim, poder indicar caminhos de políticas. É notório, no entanto, que, apesar de a modelagem ampla considerar o ambiente institucional, não há uma incorporação dessas camadas sobre a matriz tecnológica ou indicação concreta sobre a forma que essas duas visões devem ser consideradas. Assim, cabe ao leitor ou ao avaliador decidir como juntar essas óticas para apresentar um resultado final e recomendações.

É possível destacar alguns resultados sobre os desafios apontados e as bases de conhecimento mais destacadas a partir da construção da matriz tecnológica. A matriz permite uma leitura através das linhas para mostrar como as tecnologias se difundem pelos diversos setores. Pelas colunas é possível observar quais setores tem maior capacidade de absorção de bases de conhecimento. Mas não apenas as transversalidades são análises importantes na matriz, há individualidades que também devem ser destacadas (MIGUEZ *et al.*, 2018). Dessa forma, obtiveram-se os seguintes resultados provenientes da aplicação da matriz tecnológica:

- a) Identifica as tecnologias e a demanda dos setores por elas.
- b) Identifica as bases de conhecimento transversais.
- c) Identifica as tecnologias que se difundem e a absorção delas pelo setor.

Portanto, a metodologia adotada na matriz tecnológica permite tanto uma visão agregada das principais bases de conhecimento necessárias ao desenvolvimento dos distintos setores da



economia, quanto também permite observar aspectos relativos a uma tecnologia específica que podem representar oportunidades relevantes ao desenvolvimento de determinado setor da economia. Combina-se, assim, um olhar abrangente – ou macro – sobre a dinâmica tecnológica na indústria a um olhar específico que atinge o nível de projeto de desenvolvimento e de cada setor individualmente (MIGUEZ *et al.*, 2018).



2. DELTA OPPORTUNITY

Desenvolvida pela Fundação dos Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (Certi), a metodologia *Delta Opportunity* analisa as vocações econômicas, os potenciais científicos e tecnológicos e as tendências com o intuito de identificar os setores estratégicos. Tendo em vista se tratar de uma metodologia privada, os relatórios identificados não apresentam um nível de detalhamento rico dos passos, mas permite inferir o método de trabalho de forma ampla. Nesse sentido, esta seção atém-se a apresentar algumas características principais, a visão geral da aplicação da metodologia e alguns exemplos ilustrativos de sua aplicação. O método de pesquisa utilizado considera a realização de oficinas em cada uma de suas etapas para construção de documentos e informações, de forma conjunta, com atores do ecossistema.

A primeira etapa da aplicação consiste na identificação dos setores prioritários por meio da sua vocação econômica, dos potenciais científicos e tecnológicos e das tendências. Para a identificação da vocação (competências produtivas instaladas), são pesquisadas as principais aglomerações produtivas, quantificando-as em termos de empresas, empregos, índices de especialização e quociente locacional, definido como:

$$QL (IE) = \frac{\frac{E_{i \text{ setor/região estudada/o}}}{\sum E_{\text{Total da região estudada}}}}{\frac{E_{i \text{ setor/região de referência}}}{\sum E_{\text{Total da região de referência}}}}$$

Em que E é a atividade produtiva em estudo, medido pelo número de empregos, número de empresas e valor agregado fiscal. Com base nessa fórmula, conclui-se que a *atividade econômica* é MAIS concentrada na região do que no nível estadual ou nacional quando QL (ou IE) > 1 ; e a *atividade econômica* é MENOS concentrada na região do que no nível estadual ou nacional caso contrário. Assim, a vocação setorial da região é definida por aqueles setores que apresentam coeficiente $QL > 1$ para qualquer uma das três variáveis (empregos, número de empresas e valor agregado fiscal).

A variável potencial – potencialidades científico-tecnológicas – é avaliada a partir do levantamento dos cursos de graduação, pós-graduação *stricto sensu* (mestrado e doutorado), grupos e linhas de pesquisa e avaliação da qualificação dos pesquisadores. No que se refere ao levantamento



das tendências, a coleta de informações considera iniciativas identificadas no âmbito local por meio de entrevistas com empresários, professores universitários e lideranças governamentais, iniciativas de setores portadores de investimentos públicos e privados e áreas tecnológicas que são tendências globais (CLUBE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA DE LONDRINA [CEAL], s.d.). A análise e o cruzamento dessas três variáveis (vocações, potencial e tendência) apontam as oportunidades e contemplam a recomendação dos setores estratégicos, conforme é possível visualizar na Figura 2.



Figura 2 – Elementos de identificação dos setores prioritários

Fonte: Clube de Engenharia e Arquitetura de Londrina (Ceal) (s.d.).

Já a segunda etapa é a construção do radar de inovação, que parte da análise do Ecosistema de Inovação (capital humano, potencial de pesquisa, cultura empreendedora, política públicas, governança, acesso ao capital) (CEAL, s.d.). A avaliação do nível de maturidade do *Ecosistema de Inovação* é projetada a partir de sete vertentes de análise, como pode ser constatado na Figura 3.

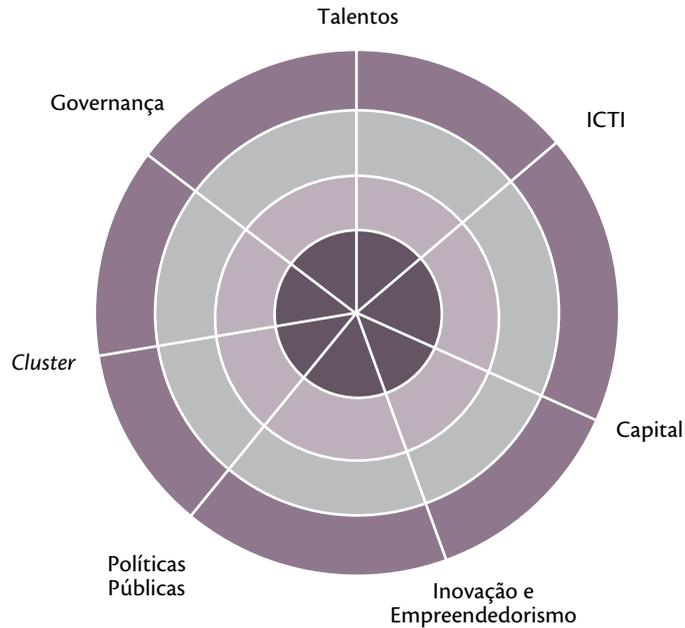


Figura 3 – Radar de inovação

Fonte: Ceal (s.d.).

A vertente *Talentos* avalia o nível de maturidade do quesito formação de capital humano dentro das áreas identificadas como oportunidades. Já a vertente *Instituição de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTI)* examina o nível de maturidade da geração de conhecimento científico-tecnológico para a promoção da inovação. A vertente *Capital* verifica a disponibilidade e a capacidade das empresas da região de acessarem recursos e incentivos para promoção da inovação. A vertente *Inovação e Empreendedorismo* averigua os ambientes de inovação e a cultura empreendedora da região. A vertente *Políticas Públicas* observa a existência e a efetividade das políticas públicas voltadas à promoção da inovação. A vertente *Cluster* avalia o grau de maturidade dos *clusters* relacionados às áreas identificadas como de oportunidade. Por fim, a vertente *Governança* analisa o grau de articulação entre os atores e se existe alguma liderança relacionada às áreas consideradas como de oportunidade (CEAL, s.d.).

Para apoiar a construção desses diagnósticos são definidos alguns indicadores no intuito de permitir a inferência do nível de maturidade em cada vertente. A Figura 4 apresenta os indicadores utilizados na análise e no planejamento do Ecossistema no município de Ponta Grossa/PR.



Indicadores de análise das vertentes

Talentos	Capital	Políticas Públicas
Quantidade de empregos	Disponibilidade de recursos para as empresas	Políticas públicas direcionadas à CTI e ao adensamento produtivo
Alocação dos empregos	Disponibilidade de incentivos para as empresas	Visões dos atores do Ecosistema de Inovação
Cursos de graduação e técnicos	Capacidade de utilização dos recursos para as empresas	Cluster
Disponibilidade de mão de obra	Capacidade de utilização dos incentivos pelas empresas	Adensamento empresarial (QL)
Avaliação dos cursos de graduação	Visões dos atores do Ecosistema de Inovação	Porte das empresas
Visões dos atores do Ecosistema de Inovação		Valor Adicionado Fiscal (VAF)
		Visões dos atores do Ecosistema de Inovação
ICTI	Inovação e Empreendedorismo	Governança
Programas de pós-graduação (mestrado e doutorado)	Ambientes de inovação	Existência de entidades representativas de classes
Linhas de pesquisa	Cultura empreendedora	Núcleos setoriais de áreas estratégicas
Laboratórios	Visões dos atores do Ecosistema de Inovação	Eventos setoriais
Visões dos atores do Ecosistema de Inovação		Visões dos atores do Ecosistema de Inovação

Figura 4 – Indicadores de análise aplicados para o caso do Ecosistema de Ponta Grossa/PR
 Fonte: Fundação dos Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (Certi) (2017).

A análise de tais indicadores, então, é utilizada para avaliar o grau de maturidade da vertente para cada uma das áreas de especialização definidas na etapa 1. A Figura 5 apresenta o resultado da análise da vertente de Talentos, apontando para uma “boa quantidade de oferta de cursos alinhados às demandas das empresas e dos profissionais formados ou atraídos para a região, porém ainda insuficiente”. Cabe ressaltar que não é apresentado o método específico utilizado para chegar a tal conclusão, partindo dos dados disponíveis. Com a análise do estágio de maturidade de cada uma das vertentes, obtém-se um diagnóstico do Ecosistema para cada área prioritária,



a partir do qual são definidas ações que permitam fortalecer os pontos mais fracos de cada uma das vertentes. A Figura 6 apresenta as macroações para o setor de TIC no Ecosistema de Ponta Grossa/PR. As macroações são voltadas a mitigar as principais fraquezas identificadas na etapa 2 com auxílio dos indicadores selecionados.

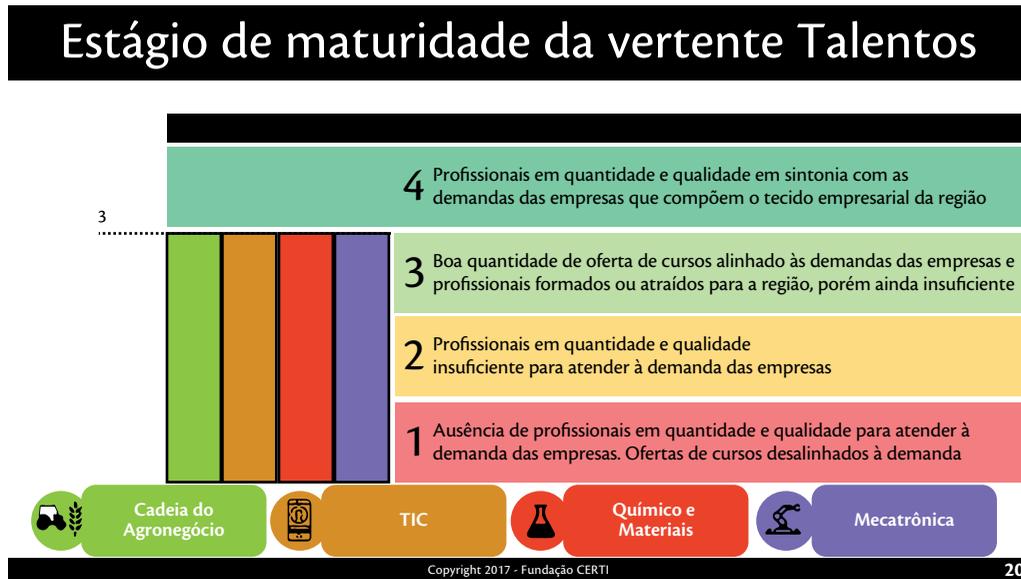


Figura 5 – Estágio de maturidade da vertente de Talentos para o Ecosistema de Ponta Grossa/PR
Fonte: Fundação Certi (2017).

A terceira e última etapa consiste na elaboração de plano de ação. Este último compreende as estratégias, as ações e as responsabilidades de curto, médio e longo prazo para cada vertente do Ecosistema e para cada setor estratégico. Para cada um dos setores são apresentados o nível atual de maturidade das vertentes analisadas e o nível de maturidade projetado para um futuro de 10 anos, com a participação dos atores do ecossistema durante uma oficina de trabalho. Considera-se a criação de plano de ação a partir da identificação de cenários atual e desejado (CEAL, s.d.).



MACROAÇÕES – TIC

- 1) Estruturar Programa de Estímulo ao Empreendedorismo alicerçado na resolução de problemas das empresas da região
- 2) Fortalecer/criar programas de mestrado/doutorado estimulando dissertações/teses em temas de interesse das empresas locais
- 3) Fortalecer o APL de TIC de Ponta Grossa/NSTI criando verticais, aproximação de setores estratégicos na região e gestão do ecossistema de TIC (transformar aos poucos em uma associação)
- 4) Estruturar a Espécie de Condomínio de Empresas de TIC
- 5) Desenvolver o programa de preparação das empresas para aproximação com potenciais investidores (anjos, VC, etc.)

Figura 6 – Plano de ação para o setor de TIC no Ecossistema de Ponta Grossa/PR

Fonte: Fundação Certi (2017).

O método tem como grande fortaleza considerar as prioridades predefinidas pelos atores consultados, garantindo que as propostas estejam alinhadas às áreas de interesse da região. Adicionalmente, o grande número de vertentes e indicadores induz à construção de um diagnóstico bastante abrangente acerca das áreas prioritárias, facilitando a identificação dos pontos fracos, de forma que o apontamento de ações tende a surgir de forma natural. No entanto, o diagnóstico e o plano de ação parecem depender muito da existência de indicadores de qualidade e que representem bem a vertente em suas diversas dimensões de análise, de forma que pode ser de interesse do gestor de política pública incorporar análises qualitativas para definição dos planos de ação.



3. SMART SPECIALIZATION (RIS3)

Elaborada pela União Europeia (UE), a Estratégia de Pesquisa e Inovação Nacional/Regional para a Especialização Inteligente (*National/Regional Research and Innovation Strategies for Smart Specialisation*, na sigla em inglês), ou RIS3, promove o uso eficiente, eficaz e sinérgico dos investimentos públicos, apoiando os países e as regiões no fortalecimento de sua capacidade de inovação, ao mesmo tempo que concentra os escassos recursos humanos e financeiros em algumas áreas globalmente competitivas, a fim de impulsionar o crescimento econômico e a prosperidade (FORAY *et al.*, 2012). O RIS3 consiste, assim, em agendas de transformação econômica integradas, baseadas *in loco*, que permitem:

- i Concentração do apoio político e dos investimentos nas principais prioridades nacionais e/ou regionais, desafios e necessidades ao desenvolvimento baseado no conhecimento, incluindo medidas relacionadas às TIC.
- ii Identificação de pontos fortes, vantagens competitivas e potencial de excelência de cada país e/ou região.
- iii Apoio da inovação tecnológica, baseadas em práticas e estímulo do investimento do setor privado.
- iv Envolvimento das partes totalmente interessadas e incentivo da inovação e da experimentação.
- v Identificação de evidências e implementação de sistemas sólidos de monitoramento e avaliação.

Sua metodologia consiste em seis etapas. A primeira delas é a análise do contexto regional e potencial de inovação, a qual identifica os pontos fortes e fracos dos ativos regionais existentes, a fim de mapear quaisquer gargalos do Ecossistema de Inovação e os principais desafios para a economia e a sociedade. Além disso, verificam-se as ligações da região com o resto do mundo e sua posição na economia regional e global, por meio da identificação de ligações e fluxos relevantes de bens, serviços e conhecimento, os quais revelam possíveis padrões de integração com regiões parceiras. Por fim, analisa a dinâmica do ambiente empresarial. Ressalta-se que a *Smart Specialization* não visa criar monocultura e uniformidade de tecnologia, pelo contrário, busca promover maior diversidade, visto que as regiões podem sustentar várias linhas de especializações inteligentes (prioridades) (FORAY *et al.*, 2012).



A segunda etapa refere-se à criação de uma estrutura de governança sólida e inclusiva. A *Smart Specialization* baseia-se em uma visão ampla da inovação, o que implica automaticamente o envolvimento das partes interessadas de diferentes tipos e níveis em seu projeto. O modelo de governança tripla hélice, baseado no envolvimento da indústria, da academia e do governo, não é suficiente nesse contexto, pois tanto o mercado quanto a sociedade civil devem ser incluídos. Assim, os esquemas de governança devem permitir a liderança colaborativa, isto é, as hierarquias, nos processos de tomada de decisões, devem ser flexíveis o suficiente para permitir que cada ator tenha um papel e, eventualmente, tome a liderança em fases específicas do projeto, de acordo com características, histórico e capacidades dos atores (FORAY *et al.*, 2012).

A terceira etapa baseia-se na elaboração de uma visão compartilhada sobre o futuro da região. Evidências analíticas devem ser usadas para descrever um cenário abrangente da economia regional, da sociedade e do meio ambiente compartilhado por todas as partes interessadas. O cenário constitui a base para desenvolver uma visão sobre onde a região gostaria de estar no futuro, quais são os principais objetivos a serem alcançados e por que são importantes? Ter uma visão clara e compartilhada do desenvolvimento regional é fundamental para manter os *stakeholders* engajados no processo, tarefa particularmente desafiadora, visto que é um processo de longo prazo. Um elemento intimamente ligado à formulação de uma visão eficaz é a comunicação como forma de divulgação da visão, o que acaba por gerar uma tensão positiva na sociedade regional em relação aos objetivos estratégicos, permitindo, assim, embarcar novos *stakeholders* e manter os atuais engajados (FORAY *et al.*, 2012).

A quarta etapa consiste na seleção de um número limitado de prioridades para o desenvolvimento regional. A definição de prioridades no contexto da RIS3 implica uma correspondência eficaz entre um processo descendente de identificação de objetivos gerais alinhados às políticas nacionais e regionais, e um processo ascendente de emergência de nichos escolhidos para a *Smart Specialization*, áreas de experimentação e desenvolvimento futuro decorrentes de atividade de descoberta de atores empreendedores. É de importância crucial que os órgãos de governança RIS3 se concentrem em um número limitado de prioridades de inovação e pesquisa alinhadas ao potencial de *Smart Specialization* detectado na fase de análise que está ancorada em descobertas empresariais. Essas prioridades serão as áreas em que uma região pode, realmente, esperar se destacar (FORAY *et al.*, 2012).

A quinta etapa refere-se ao estabelecimento de combinações de políticas adequadas. A estratégia deve ser implementada por meio de um roteiro, com um plano de ação eficaz que permita certo



grau de experimentação por meio de projetos-piloto. Um plano de ação é uma forma de detalhar e organizar todas as regras e ferramentas de que uma região precisa para atingir as metas prioritizadas e deve fornecer as informações abrangentes e consistentes sobre objetivos estratégicos, prazos para implementação, identificação de fontes de financiamento, orçamento provisório alocado, entre outros. Os projetos-piloto constituem as principais ferramentas para experimentação de políticas e permitem testar combinações sem precedentes de medidas em pequena escala, antes de decidir sobre a implementação em uma escala maior e mais cara. Para atender a esse propósito de forma eficaz, os projetos-piloto devem ser acoplados a mecanismos de avaliação eficazes que conduzam a uma avaliação sólida do sucesso e da viabilidade dos principais projetos RIS3. Ademais, conforme mostra a Tabela 3, essa combinação de políticas pode levar em consideração as diferentes condições existentes para os casos das micro e pequenas empresas (MPE) (FORAY *et al.*, 2012).

Tabela 3 – Exemplos de instrumentos de inovação voltados às micro e pequenas empresas (MPE)

FORMA E FOCO DOS SERVIÇOS DE APOIO À INOVAÇÃO PARA PMES		
ALVOS DE APOIO	FERRAMENTAS REATIVAS QUE FORNECEM DADOS PARA INOVAÇÃO	FERRAMENTAS PROATIVAS COM FOCO EM APRENDER A INOVAR
CONEXÕES GLOBAIS	<ul style="list-style-type: none"> Polos de excelência Centros de tecnologia transfronteiriços Financiamento para projetos internacionais de P&D 	<ul style="list-style-type: none"> Esquemas de transferência internacional de tecnologia Esquemas de mobilidade Suporte para rede global de empresas Vouchers de inovação internacional Iniciativas de liderança de mercado
SISTEMAS REGIONAIS	<ul style="list-style-type: none"> Tecnologias coletivas ou centros de inovação 	<ul style="list-style-type: none"> Políticas de clusters Corretores proativos, <i>match-makers</i> Vouchers de inovação Suporte para rede regional de firmas Programas atuando na cultura de inovação
FIRMAS INDIVIDUAIS	<ul style="list-style-type: none"> Incubadoras com suporte rígido Centros tradicionais de tecnologia reativa Subsídios ou incentivos fiscais para P&D 	<ul style="list-style-type: none"> Conselho de gestão Incubadoras com suporte flexível Centros de tecnologia proativos Auditorias, monitoramento de necessidades Treinador de inovação/treinamento em gestão de inovação Esquemas de inteligência técnico-econômica

Fonte: Foray *et al.* (2012).



A sexta e última etapa consiste na integração de mecanismos de monitoramento e avaliação. Os mecanismos de monitoramento e avaliação devem ser integrados à estratégia e aos seus diferentes componentes desde o início. Para realizar a avaliação, é essencial que os objetivos sejam claramente definidos em termos mensuráveis em cada nível de implementação, ou seja, desde os objetivos estratégicos gerais até os objetivos específicos de cada uma de suas ações. Uma tarefa central do projeto RIS3 é identificar um conjunto parcimonioso, porém abrangente, de indicadores de produção e resultados e estabelecer linhas de base para os indicadores de resultado e valores-alvo para todos eles (FORAY *et al.*, 2012). Assim, o sistema de monitoramento dessas estratégias pode abranger três tipos de indicadores:

- a) Indicadores de contexto que pontuam a região em relação à pontuação média do seu país ou outras regiões semelhantes. Esses indicadores são geralmente anexados aos objetivos gerais da estratégia.
- b) Indicadores de resultado selecionados para cada componente da estratégia que contribui para os objetivos estratégicos gerais. Esses indicadores permitem verificar se essas ações são bem-sucedidas ou não, ou seja, se levam à mudança esperada para o propósito para o qual foram concebidas.
- c) Indicadores de produção que medem o progresso das ações realizadas para alcançar os resultados esperados.

Em resumo, o conceito de *Smart Specialization* é “inteligente” por duas razões principais. Em primeiro lugar, conecta a investigação e a inovação ao desenvolvimento econômico de novas formas, como o processo empresarial de descoberta e a definição de prioridades pelos tomadores de decisão em estreita cooperação com os atores locais. Em segundo lugar, esse processo é realizado com um olhar para o mundo exterior, forçando as regiões a serem ambiciosas, mas realistas, sobre o que pode ser alcançado, ao mesmo tempo que ligam os recursos e as capacidades locais a fontes externas de conhecimento e cadeias de valor (FORAY *et al.*, 2012).

A partir da análise das três metodologias, como mostra a Tabela 4, compreende-se que cada uma traz um enfoque distinto para a análise estratégica dos novos segmentos ou nichos com maior potencial ao desenvolvimento tecnológico e da inovação. Entretanto, por duas das três metodologias serem privadas (matriz tecnológica e *Delta Opportunity*), não foi possível obter informações detalhadas sobre suas metodologias. Assim, verificaram-se limitações na capacidade de executar uma descrição detalhada da forma de aplicação delas.



Tabela 4 – Quadro-resumo: análise dos novos segmentos ou nichos com maior potencial ao desenvolvimento tecnológico e inovação, por meio de três metodologias

CRITÉRIOS	MATRIZ TECNOLÓGICA	<i>Delta Opportunity</i>	<i>Smart Specialization</i>
Facilidade de uso	Fácil	Médio	Difícil
Quantidade de recursos	Pouco	Médio	Muito
Horizonte temporal	Curto, médio e longo prazo	Médio prazo (10 anos)	Longo prazo
Recorte setorial	Sim	Sim	Não informa
Aplicabilidade para o Brasil	Sim	Sim	Não informa
Olhar voltado para a demanda	Sim	Sim	Sim
Pontos fortes	<ul style="list-style-type: none"> - Analisa especificamente as novas tecnologias no contexto brasileiro. - Identifica as bases tecnológicas. - Foco na demanda e na absorção das tecnologias pelo setor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Analisa as tecnologias no contexto brasileiro - Viabiliza a criação de planos de ação por meio do cruzamento de variáveis previamente definidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Olhar regional, com identificação de potencialidades. - Possibilita análise sobre situação singular das MPE. - Apresenta modelo de monitoramento e avaliação. - Ferramenta pública.
Limitações	<ul style="list-style-type: none"> - Não analisa especificamente as médias e pequenas empresas (MPE). - Não menciona monitoramento e avaliação. - Ferramenta privada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não analisa especificamente as MPE. - Não menciona monitoramento e avaliação. - Ferramenta privada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Leva em consideração o modelo de inovação europeu. - Não identifica setores no contexto brasileiro.

Fonte: elaboração própria.



4. MODELOS DE MATURIDADE

Ao tratar sobre a indústria 4.0, muita atenção é dada às tecnologias emergentes e aos seus impactos sobre o modo de produção de forma ampla. Num olhar mais aprofundado, busca-se avaliar quais são as tecnologias mais promissoras capazes de atender às demandas da manufatura, observando a sua cadeia de valor e a interação entre as diferentes tecnologias (FRANK *et al.*, 2019). É de suma importância, no entanto, que a discussão sobre a indústria 4.0 atente adicionalmente para a capacidade de as empresas entenderem os conceitos, visualizarem suas aplicabilidades e estarem preparadas para absorver e introduzir tais tecnologias em seus processos produtivos (AKDIL *et al.*, 2018; SCHUMACHER *et al.*, 2016; FELCH *et al.*, 2019; RAUCH *et al.*, 2020).

Destacam-se aqui dois tipos de modelos que buscam preencher tal lacuna. Os modelos de preparo (*Readiness Model – RM*) permitem análises acerca da capacidade atual da empresa em dar início ao processo de introdução de conceitos e tecnologias; por sua vez, os modelos de maturidade (*Maturity Model – MM*) buscam indicar o nível de implementação de conceitos e tecnologias, após o início de tal processo. No entanto, no que se refere às análises feitas sobre a indústria 4.0, os termos têm sido utilizados como sinônimos na literatura (HAMIDI *et al.*, 2018; AKDIL *et al.*, 2018; SCHUMACHER *et al.*, 2016), de forma que os modelos tendem a apontar para escalas de maturidade e prontidão que abrangem as duas visões, por exemplo, variando de “capacidades ausentes” até “maduro” ou de “não iniciado” até “líder de desempenho”. Sem prejuízo ao entendimento e à aplicação do conteúdo, neste documento, utiliza-se o termo *modelos de maturidade* para referir-se a esse conjunto de modelos.

Um modelo de maturidade para indústria 4.0 tem como objetivo apontar o nível de preparo digital das organizações para usufruir das tecnologias associadas à indústria 4.0, em comparação a uma trajetória desejada, podendo resultar na indicação de estratégia de melhoria de capacidades da organização a fim de possibilitar a elevação do nível de maturidade. No intuito de fazer tal avaliação, têm-se utilizado diversas dimensões de análise, escolhidas por meio de entrevistas com especialistas e/ou de revisão da literatura, que buscam contemplar uma visão abrangente e aprofundada acerca das capacidades da organização (HIZAM-HANAFIAH *et al.*, 2020; SCHUMACHER *et al.*, 2016; LICHTBLAU *et al.*, 2015). Tendo em vista as dimensões macroestabelecidas, são elaboradas perguntas específicas para que se possa avaliar as subdimensões ou itens associados (a cada dimensão), formando um questionário destinado aos gestores das empresas. Com base num



sistema de pesos, as respostas são consolidadas para definir pontuações e, conseqüentemente, para a faixa de maturidade na qual a organização se encaixa.

No nível empresarial, a aplicação de modelos de avaliação da maturidade pode oferecer conhecimento sobre o estado atual da empresa e embasar a estratégia de implementação de tecnologias 4.0, reduzindo incertezas a respeito do esforço financeiro necessário à aquisição de tais tecnologias, assim como o impacto geral que isso terá sobre seu modelo de negócios (HAMIDI *et al.*, 2018; AKDIL *et al.*, 2018; SCHUMACHER *et al.*, 2016). No nível governamental, a aplicação em larga escala dessas avaliações permite um conhecimento detalhado acerca da capacidade do empresariado em absorver tais tecnologias e, assim, qualificar as respostas e os impactos esperados por políticas voltadas à indústria 4.0.

Tendo em vista a importância desse tipo de análise, a seção atual apresenta modelos de avaliação da maturidade das empresas para a implementação das tecnologias associadas à indústria 4.0. É importante ressaltar, no entanto, que o modelo a ser aplicado e as suas dimensões devem atender às necessidades das empresas-alvo do questionário (FELCH *et al.*, 2019), permitindo uma análise capaz de gerar recomendações ajustadas à realidade do setor e à construção de estratégias de implementação por parte das empresas (SCHUMACHER *et al.*, 2016).

Apesar de não apresentar as questões a serem realizadas, ou características associadas a cada uma das opções de múltipla escolha, Schumacher *et al.* (2016) indicam que seu modelo busca verificar o nível de maturidade em relação à visão da indústria 4.0. Nesse sentido, uma adaptação que pode ser realizada – visando facilitar a interpretação dos resultados finais e auxiliar a avaliação das opções por parte dos entrevistados – é oferecer informações acerca das características que devem ser observadas numa empresa-modelo que segue a visão da indústria 4.0. Com base em tal perspectiva, Schumacher *et al.* (2016) utilizam a visão e o processo de implementação proposto pelo governo alemão (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Adicionalmente, caso uma adaptação mais profunda seja necessária, algumas referências apresentam metametodologia para guiar o desenvolvimento e a seleção de modelos, genéricos ou específicos, por meio de um passo a passo estruturado e com documentação apropriada (DE JESUS; LIMA, 2020; BECKER *et al.*, 2018; DE BRUIN *et al.*, 2005).



4.1. Modelos

A literatura sobre modelos de maturidade para a indústria 4.0 tem crescido rapidamente, especialmente após 2016, e com ela tem surgido uma grande variedade de modelos na literatura acadêmica e por parte de indústria e consultorias (HIZAM-HANAFIAH *et al.*, 2020; AKDIL *et al.*, 2018; DE JESUS; LIMA, 2020).

No intuito de identificar os temas associados aos modelos de maturidade para a indústria 4.0, realizou-se uma busca de artigos revisados por pares e apresentados em conferências, publicados em inglês, na base de artigos *Web of Science*. Os termos utilizados foram: *i4.0 OR industry 4.0 OR ind 4.0 AND maturity OR readiness OR capability AND model*. Como resultado, identificaram-se 447 artigos distintos, os quais são exibidos e agrupados na Figura 7 por critério de similaridade semântica de seus títulos e resumos.

Três dos agrupamentos apresentados na Figura 7 são de especial interesse para os propósitos deste documento. O *cluster* laranja está associado a publicações relativas a pequenas e médias empresas, como Mittal *et al.* (2018), que identificam a falta de modelos de maturidade que possam ser aplicados internamente pela pequena e média empresa, dispensando a contratação de especialistas e considerando ainda suas necessidades específicas. Rauch *et al.* (2020) apontam para uma dificuldade no entendimento dos conceitos e das definições de prioridades tecnológicas, propondo um modelo que lida com esses dois problemas e modela a construção da estratégia para a pequena e média empresa. Por sua vez, o grupo em verde trata de modelos de maturidade com foco em processos, necessidades e desafios associados à logística 4.0 (FACCHINI *et al.*, 2019; ASDECKER; FELCH, 2018).

O agrupamento central em azul representa publicações de caráter mais amplo, por exemplo, De Jesus e Lima (2020) propõem uma metametodologia para seleção e construção de modelos de maturidade; De Carolis *et al.* (2017) apresentam uma metametodologia para construção de *roadmap* decorrente dos resultados do modelo de maturidade; e Leyh *et al.* (2017) explicitam um modelo de maturidade com foco no preparo tecnológico. De forma geral, os demais agrupamentos são caracterizados por tecnologias específicas e, por isso, não são detalhados neste documento.

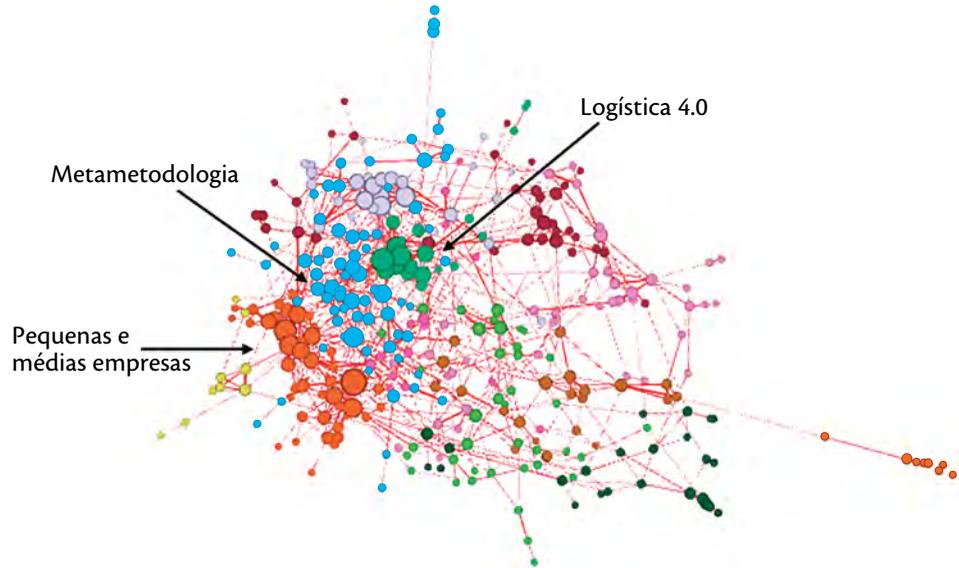


Figura 7 – Rede de similaridade semântica de artigos relacionados a modelos de maturidade para a indústria 4.0

Fonte: elaboração própria.

Becker *et al.* (2009) apontam que, para outros segmentos do conhecimento, essa tendência aconteceu anteriormente e, também, demonstram falhas de procedimento na modelagem de documentação científica, dificultando a comparação entre modelos. De forma semelhante, observa-se que diversas publicações sobre a indústria 4.0 não apresentam alguns componentes importantes do modelo (AKDIL *et al.*, 2018, ASDECKER; FELCH, 2018; HIZAM-HANAFIAH *et al.*, 2020). Ao buscar uma normalização desse aspecto, Akdil *et al.* (2018) propõem que um modelo de maturidade deve ser composto pelos seguintes itens:

- Dimensões e áreas.
- Critério de avaliação do nível/estágio.
- Métrica.
- Nível/estágio de maturidade.
- Orientações com base no nível.



Hizam-Hanafiah *et al.* (2020) consideram ainda que o *questionário* é parte integrante do modelo, eliminando de sua análise aqueles cujo conteúdo das questões não foi explicitado na publicação. Tendo em vista que o questionário é a representação prática da definição de “o que” será medido e “como”, adiciona-se aos itens anteriores o elemento de “perguntas associadas”.

De forma geral, as dimensões e áreas (ou subdimensões) apontam para características da empresa que se julga fundamental para implementação de conceitos e tecnologias da indústria 4.0. Os achados quanto a esse item são explorados na seção seguinte deste documento.

Tendo em vista tais dimensões, é necessário definir um critério de comparação ou uma meta que se busca atingir para cada uma delas. Tais critérios de avaliação, em geral, são apresentados pela descrição dos níveis de maturidade. Schumacher *et al.* (2016) sugerem, no entanto, que a comparação deve ocorrer com um referencial preestabelecido de forma a dar mais estabilidade às comparações. Esse referencial, então, deve ser utilizado para construção do questionário a ser aplicado aos gestores da indústria.

Com base numa revisão estruturada de modelos de maturidade, De Jesus e Lima (2020) propõem que a seleção ou o desenvolvimento de um modelo deve considerar os seguintes parâmetros para desenvolvimento de modelos que serão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros para desenvolvimento de modelos

FASE	PARÂMETRO DE DECISÃO	CARACTERÍSTICAS
Definição de escopo	Foco/abrangência	Modelo genérico
		Modelo específico
	Público-alvo	Orientado à gestão
		Orientado à tecnologia
Construção do modelo	Definição da maturidade	Focado em objeto
	Função objetivo	Multidimensional
	Processo de construção	Baseado na literatura e experiência
	Método de aplicação	Aplicação própria ou por profissional habilitado
	Respondentes	Combinação de equipe interna e pessoal externo (parceiros)



FASE	PARÂMETRO DE DECISÃO	CARACTERÍSTICAS
Utilização	Medidas	O que precisa ser medido e como
Avaliação do desenho	Teste da estrutura do modelo	Avaliação dos desdobramentos e das recomendações
Evolução	Aplicação e manutenção do modelo	Síntese do desenho e aprendizado contínuo

Fonte: adaptado de De Jesus e Lima (2020).

Uma das características mais destacadas na literatura refere-se ao tipo de proponente dos modelos, comumente classificados entre academia ou indústria (empresas e consultorias) (HIZAM-HANAFIAH *et al.*, 2020; AKDIL *et al.*, 2018; DE JESUS; LIMA, 2020; SCHUMACHER *et al.*, 2016). Hizam-Hanafiah *et al.* (2020) ressaltam que as publicações da indústria tendem a apresentar menor detalhamento sobre a modelagem, devido a questões de propriedade intelectual; maior número de dimensões; serem mais pragmáticos e populares; e apresentarem tanta especialização setorial quanto as publicações da academia. Por meio de aplicação de questionário¹ aplicado a especialistas (majoritariamente da indústria e europeus), Felch (2019) avalia que os gestores empresariais têm mostrado menor conhecimento de modelos propostos pela academia e que, de forma geral, os modelos de maturidade têm sido pouco aplicados pelas empresas, apesar de que os gestores entendam sua importância. Felch (2019) adiciona que, entre aquelas que aplicaram, há uma tendência de desenvolvimento interno do modelo, para melhor acomodação dos objetivos da entidade, e com intenção de descrever a situação da empresa e prescrever medidas de melhorias de capacidade interna.

Apresentamos no anexo os principais modelos encontrados na literatura, com base nas revisões estruturadas por De Jesus e Lima (2020) e Hizam-Hanafiah *et al.* (2020), somadas às referências apresentadas por Felch (2019) e Akdil *et al.* (2018).

Mittal *et al.* (2018) ressaltam que, apesar da importância das pequenas e médias empresas, sua perspectiva não tem sido considerada diretamente em estratégias nacionais dos EUA, da Alemanha e da Coreia do Sul, além de também estarem sub-representadas no âmbito dos modelos de maturidade. Mittal *et al.* (2018) enfatizam que uma das principais preocupações das pequenas e médias empresas (PME) está associada a questões financeiras e aos riscos associados aos investimentos. Nesse sentido, além de propor um modelo capaz de ser implementado

¹ Apesar do cuidado metodológico na construção do questionário e da seleção de participantes, ressalta-se que o estudo não busca que a amostra de participantes seja representativa da população e os resultados devem ser observados com cautela.



internamente pela empresa, o autor propõe que uma das dimensões do modelo de maturidade seja relativa a análises de custo-benefício e gestão de custos e riscos.

Rauch *et al.* (2020) evidenciam que as dificuldades das PME são anteriores à aplicação dos modelos, iniciando com o próprio entendimento dos conceitos associados à indústria 4.0. Por esse motivo, os autores propõem que a avaliação da maturidade inicie por um entendimento sobre o grau de aproximação dos gestores com respeito a conceitos e tecnologias. Tendo em vista a premissa de escassez de recursos das PME, o modelo propõe que a estratégia de implementação busque dar prioridades a tópicos que ofereçam maiores ganhos potenciais e que estejam associados a menores defasagens em relação ao padrão de comparação.

Apesar do nível verificado de sofisticação dos modelos apresentados por Mittal *et al.* (2018) e Rauch *et al.* (2020), não foi possível identificar todos os componentes de um modelo de maturidade, em especial o questionário de avaliação das dimensões.

Rauch *et al.* (2020) apresentam uma revisão estruturada da literatura específica para PME, a qual é reproduzida na Tabela 6. Os autores observam que os modelos revisados não propõem um padrão de comparação ou meta que facilite a atribuição da pontuação da maturidade em cada subdimensão, de forma que a avaliação dos entrevistados é ainda mais suscetível a vieses de interpretação e de experiência individual. Dessa forma, a aplicação de algum desses modelos deve exigir a construção desse padrão, ainda que essa etapa não esteja prevista na descrição do modelo.

Tabela 6 – Indústria 4.0 em pequenas e médias empresas (PME)

AUTORES	ANO	TÍTULO	ANÁLISE
GANZARAIN, J.; ERRASTI, N.	2016	<i>Three-stage maturity model in SME's towards industry 4.0</i>	Maturidade
MITTAL, S.; ROMERO, D.; WUEST, T.	2018	<i>Towards a smart manufacturing maturity model for SMEs (SM3E)</i>	Maturidade
BITTIGHOFER, D.; DUST, M.; IRSLINGER, A.; LIEBICH, M.; MARTIN, L.	2018	<i>State of Industry 4.0 Across German Companies</i>	Maturidade
PUCHAN, J.; ZEIFANG, A.; LEY, J. D.	2019	<i>Industry 4.0 in Practice-Identification of Industry 4.0 Success Patterns</i>	Maturidade
TROTTA, D.; GARENGO, P.	2019	<i>Assessing Industry 4.0 Maturity: Na Essential Scale for SMEs</i>	Maturidade



AUTORES	ANO	TÍTULO	ANÁLISE
PIROLA, F.; CIMINI, C.; PINTO, R.	2019	<i>Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study approach</i>	Maturidade
HAMIDI, S. R.; AZIZ, A. A.; SHUHIDAN, S. M.; AZIZ, A. A.; MOKHSIN, M.	2018	<i>SMEs maturity model assessment of IR4.0 digital transformation</i>	Prontidão
SHEEN, D. P.; YANG, Y.	2018	<i>Assessment of Readiness for Smart Manufacturing and Innovation in Korea</i>	Prontidão
CHONSAWAT, N.; SOPADANG, A.	2019	<i>The development of the maturity model to evaluate the smart SMEs 4.0 readiness</i>	Prontidão
BROZZI, R.; D'AMICO, R. D.; MONIZZA, G. P.; MARCHER, C.; RIEDL, M.; MATT, D.	2018	<i>Design of self-assessment tools to measure industry 4.0 readiness. A methodological approach for craftsmanship SMESs</i>	Prontidão
SCHIFFER, M.; WIENDAHL, H.-H.; SARETZ, B.	2019	<i>Self-assessment of Industry 4.0 Technologies in Intralogistics for SME's</i>	Específico
KROWAS, K.; RIEDEL, R.	2019	<i>Planning Guideline and Maturity Model for Intra-logistics 4.0 in SME</i>	Específico
KOLLA, S.; MINFEKR, M.; PLAPER, P.	2019	<i>Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs</i>	Específico

Fonte: adaptado de Rauch *et al.* (2020).

4.2. Dimensões de análise

As dimensões de análise representam um dos itens mais significativos nos modelos de maturidade por indicar diversas das características do modelo e da visão dos proponentes quanto ao problema da maturidade. Com base na percepção da falta de dimensões organizacionais da empresa, Schumacher *et al.* (2016) são um dos primeiros autores a adicionar tal característica aos modelos da literatura. Hamidi *et al.* (2018), por sua vez, adicionam dimensões associadas a questões financeiras para adequar aos grandes obstáculos da PME quanto à implementação dos conceitos da indústria 4.0. Além da construção das dimensões por meio de oficinas e entrevistas com especialistas das áreas, o procedimento mais adotado tem sido o de realizar um levantamento da literatura existente.

Hizam-Hanafiah *et al.* (2020) fazem uma revisão estruturada da literatura, que contempla 97 artigos publicados entre 2000 e 2019, sobre as dimensões de análise aplicadas nos modelos de maturidade para indústria 4.0. Os autores identificaram 30 diferentes modelos e 158 dimensões



distintas e propõem uma reorganização das dimensões em seis agrupamentos. Com base na reclassificação, os autores observam que, em sua grande maioria, as dimensões relatadas são relacionadas à *Tecnologia* (44%), seguidos por *Pessoas* (17%), *Estratégia* (11%), *Liderança* (11%), *Processo* (11%) e *Inovação* (6%). Ainda que a classificação realizada sofra de um viés relativo ao entendimento dos autores sobre os temas, é possível inferir que há uma grande atenção dada à disponibilidade, à variedade e à infraestrutura tecnológica. A Tabela A1 do anexo apresenta uma lista de modelos selecionados, assim como suas dimensões e níveis de maturidade.

Modelos específicos podem partir de definições-chave das suas indústrias. Facchini *et al.* (2019) propõem dimensões para a logística 4.0 partindo de uma conceituação de cadeia de fornecimento, resultando em uma análise a partir dos fluxos de informação e material. Por sua vez, Rauch *et al.* (2020) partem de conceitos e tecnologias da indústria 4.0, observados em uma revisão da literatura, para construir subdimensões (dimensão nível 2) e dimensões de análise de seu modelo, conforme apresentado nas Tabelas 7 e 8.

Ao considerar a experiência na implementação da indústria 4.0 na Alemanha, Veile *et al.* (2019) propõem o uso de seis dimensões que surgem de três aspectos complementares e suas sobreposições, diga-se tecnologia, organizacional e humano. As dimensões propostas e suas caracterizações são apresentadas na Tabela 8.

Ao partir de uma visão mais restrita e específica sobre a implementação de tecnologias, Frank *et al.* (2019) propõem dois grupos de dimensões: tecnologias *front-end* e de base. No primeiro grupo, os autores consideram quatro dimensões: manufatura; produtos; cadeia de fornecimento; e trabalho. Para as tecnologias de base, eles observam quatro elementos: internet das coisas; serviços na nuvem; *big data*; e análise de dados. Essa metodologia é utilizada na condução de questionário aplicado a 92 empresas de manufatura na região Sul do Brasil que fazem parte da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq-Sul).

O modelo de maturidade do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), por sua vez, considera as dimensões de *Manufatura e Cadeira de Suprimentos*; *Estratégia e Organização*; *Modelos de Negócio, Produtos e Serviços*; e *Cultura e Pessoas*. A primeira das dimensões incorpora aspectos de disponibilidade e intensidade de uso de tecnologias.



Tabela 7 – Construção das dimensões a partir de tecnologias e conceitos

DIMENSÃO NÍVEL 1	DIMENSÃO NÍVEL 2	TECNOLOGIAS E CONCEITOS	
Operação	Sistema de Manufatura Ágil	Sistema de manufatura ágil	
		Sistemas de manufatura autoajustáveis	
		Modelos de fluxo de material contínuo e ininterrupto	
	Sistemas de Monitoramento e Decisão	Sistemas de suporte à decisão	
		Sistemas de monitoramento em tempo real digitais e integrados	
		Monitoramento remoto de produtos	
	<i>Big Data</i>	Análise de <i>big data</i>	
	Controle e Planejamento de Produção	Planejamento de recursos empresarial/sistema de execução de manufatura	
	Organizacional	Modelo de Negócio 4.0	Sistemas digitais de produto-serviço
			Economia da servitização e colaborativa
<i>Add-on</i> ou <i>upgrade</i> digital			
<i>Lock-in</i> digital			
<i>Freemium</i>			
Ponto digital de vendas			
Estratégia de Inovação		Inovação aberta	
Estratégia 4.0		<i>Roadmap</i> da indústria 4.0	
Sociocultural	Recursos Humanos 4.0	Treinamento 4.0	
	Trabalho 4.0	Papel do operador	
	Cultura 4.0	Transformação cultural	



DIMENSÃO NÍVEL 1	DIMENSÃO NÍVEL 2	TECNOLOGIAS E CONCEITOS
Tecnologia	<i>Big Data</i>	Computação nas nuvens
	Comunicação e Conectividade	Estações de trabalho digitais e conectadas
		<i>E-Kanban</i>
		Sistemas ciberfísicos e IoT
	Cibersegurança	Cibersegurança
	<i>Deep Learning, Machine Learning, Inteligência Artificial</i>	Inteligência artificial
	Inteligência	<i>Object Self Service</i>
	Tecnologias de Identificação e Rastreamento	Tecnologias de identificação e rastreamento
	Manufatura Aditiva	Manufatura aditiva
	Manutenção	Manutenção preditiva
		Telemanutenção
	Robótica e Automação	Sistemas de armazenamento automatizados
		Sistemas de transporte automatizados
		Manufatura automatizada
		Robótica colaborativa
	Desenho e Desenvolvimento de Produto	Sistemas de assistência inteligente
Gestão de dados de produtos		
Normalização 4.0	Normalização de sistemas ciberfísicos	
Realidade Aumentada, Virtual e Simulações	Realidade aumentada e virtual	
	Simulações	

Fonte: adaptado de Rauch *et al.* (2020).



Tabela 8 – Construção de dimensões a partir da interação de aspectos complementares

DIMENSÕES	CARACTERIZAÇÃO	FONTES
Recursos Humanos	Treinamento e educação adicional auxiliam no desenvolvimento e na melhoria de competências vitais e capacidades.	Birkel <i>et al.</i> (2019); Darbanhosseiniamirkhiz; Ismail (2012); Erol <i>et al.</i> (2016); Kagermann <i>et al.</i> (2013); e Schuh <i>et al.</i> (2017).
Recursos Humanos e Tecnologia	Sistemas de apoio facilitam a execução de atividades que adicionam valor por parte da equipe. Necessidade de treinamento para utilização de novas tecnologias. Questões de segurança de trabalho tornam-se mais importantes com o crescimento das interações entre homens e máquinas.	Block <i>et al.</i> (2015); Kagermann <i>et al.</i> (2013); Kamble <i>et al.</i> (2018); e Tupa <i>et al.</i> (2017).
Tecnologia	Desenvolvimento de tecnologias – como sistemas ciberfísicos, <i>big data</i> e computação na nuvem – permite a criação de valor em fábricas inteligentes.	Moktadir <i>et al.</i> (2018); Telukdarie <i>et al.</i> (2018); Mosler (2017); e Siepmann (2016).
Tecnologia-organização	Diferentes níveis hierárquicos são conectados a um sistema de integração vertical. A organização precisa estar alinhada com desenvolvimentos tecnológicos. Interações entre fornecedores, clientes e parceiros são melhoradas por integração horizontal.	Kagermann <i>et al.</i> (2013); Moktadir <i>et al.</i> (2018); e Tortorella; Fettermann (2018).
Organização	Formas de organização ágeis (tomada de decisão descentralizada, reduzido número de níveis hierárquicos). Redes entre firmas e cooperação estratégica. Mudanças de modelos de negócio.	Hermann <i>et al.</i> (2015); Muller Buliga; Voigt (2018); e Schuh <i>et al.</i> (2017).
Organização Recursos humanos	Mudança cultural (aceitação de mudanças, espírito empreendedor, tolerância à falha, liderança democrática, comunicação aberta).	Burmeister <i>et al.</i> (2016); Davies <i>et al.</i> (2017); Moktadir <i>et al.</i> (2018); Saberi; Yusuff (2011); e Schuh <i>et al.</i> (2017).

Fonte: adaptado de Veile *et al.* (2019).

4.3. Subdimensões, perguntas associadas e método de cálculo

Em grande medida, a discussão atual sobre os distintos modelos dedicam-se à maior atenção à definição das dimensões de análise, oferecendo menor detalhamento sobre itens, como as perguntas associadas, o método de cálculo e as recomendações associadas aos níveis de maturidade. O foco dado está associado ao fato de que os itens menos abordados têm caráter mais prático, de forma que a publicação dessas informações pode permitir a utilização independente do modelo, algo indesejável especialmente pelas consultorias.



No que pese à restrição de informações, a presente seção apresenta um retrato do detalhamento disponibilizado nas publicações consultadas sobre os demais componentes de um modelo de maturidade.

4.4. Perguntas associadas

A principal referência identificada, no que se refere às perguntas do questionário, é Akdil *et al.* (2018), em que há também as alternativas de resposta para cada uma das três dimensões e 13 subdimensões/campos associados. Uma característica das questões proposta por Akdil *et al.* é que elas permitem a escolha de mais de uma opção, de forma que as alternativas não são exclusivas. Para cada alternativa respondida positivamente, é atribuído um ponto, de forma que a pontuação da questão é dada pela frequência de respostas positivas. A Tabela 9 apresenta um exemplo de questão da dimensão de *Smart Business Process* na dimensão de *Produção, Logística e Compras*. As dimensões e o processo de construção dos questionários utilizados para conceituar tecnologias associadas à indústria 4.0 e as necessidades e interesses desta dependem de ajustes sempre que necessários, conforme ressaltaram os autores Akdil *et al.* (2018). Os autores disponibilizam todas as questões e alternativas utilizadas para um teste prático da ferramenta.

Tabela 9 – Exemplo de questão utilizada para a avaliação da subdimensão de *Processos de Smart Business e Produção, Logística e Compras*

COMO OS DADOS COLETADOS SÃO UTILIZADAS NA PRODUÇÃO? (LICHTBLAU <i>et al.</i> , 2015)
Manutenção preditiva
Otimização de logística e processos produtivos
Criação de transparência ao longo do processo produtivo
Gestão da qualidade
Controle de produção automatizada pelo uso de dados em tempo real
Otimização do consumo de insumos (material, energia)
Outro:

Fonte: adaptado de Akdil *et al.* (2018).



Outro formato de questão é o utilizado por Schumacher *et al.* (2016) e Kaltenbach (2018), que consideram uma escala de intensidade do tipo Likert, variando de 1 a 5, conforme exemplo de Schumacher *et al.* (2016) na Tabela 10. Sob tal formato, é apresentada uma única pergunta ou informação que deve ser avaliada pelos entrevistados, de forma que a resposta padronizada de 1 a 5 é selecionada uma única vez, sendo utilizada para contagem da pontuação. Ressalta-se que Schumacher *et al.* (2016) apenas demonstram um exemplo de questão, não exibindo a descrição da resposta.

Tabela 10 – Exemplo de questão utilizando escala Likert

QUESTÃO	1	2	3	4	5
Você utiliza um <i>roadmap</i> para o planejamento das atividades da indústria 4.0 na sua companhia?					

Fonte: adaptado de Schumacher *et al.* (2016).

Obs.: 1 não implementado; 5 completamente implementado.

O Senai considera um conjunto complexo de tipos de questões que podem buscar identificar a intensidade utilizando uma escala Likert, questões que permitem a seleção de múltiplas opções ou, ainda, de seleção única. Essa variedade permite grande flexibilidade na inclusão de perguntas e interpretação dos resultados. Em contrapartida, pode deixar mais complexo o cálculo e a interpretação dos resultados. Como exemplo, a Figura 8 apresenta uma questão da dimensão de *Modelos de Negócio, Produtos e Serviços*.

Modelos de Negócio, Produtos e Serviços

Manufatura e cadeia de suprimentos

Estratégia e organização

Modelos de negócio, produtos e serviços

Qual é o nível de colaboração da sua empresa com parceiros para o desenvolvimento de produtos e serviços?

Evidência: documentos
Marcar apenas uma oval.

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

Figura 8 – Exemplo de questão do Modelo Senai

Fonte: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) (s.d).



4.5. Métrica

Em termos de métrica, os documentos analisados tendem a sugerir uma média simples ou ponderada das questões de cada dimensão de análise. Kaltenbach (2018) propõe que os pesos atribuídos a cada dimensão sejam resultado de uma avaliação de especialistas externos a respeito da importância de cada dimensão para implementação das tecnologias da indústria 4.0 em seu mais alto nível. Ressalta-se, no entanto, que neste trabalho a ponderação ocorre apenas no âmbito de dimensão, de forma que a pontuação f é resultado de uma média simples das notas atribuídas a cada questão da dimensão. Com base em tal lógica, Kaltenbach (2018) propõe a seguinte métrica de cálculo e pesos:

Tabela 11 – Exemplo de pesos utilizada por Kaltenbach (2018)

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n g_i f_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

Em que:

M : maturidade

g : peso (1 – 2,5)

f : pontuação (1 – 6)

CATEGORIA	PESO (G)
Oferta de serviços inteligentes	1,8
Planejamento futuro	2
Número de serviços inteligentes	1,8
Nível de automação	2,4
Engenharia simultânea	2,2

Fonte: adaptado de Kaltenbach (2018).

Akdil (2018) aplica como métrica uma média simples, avaliando o estágio de maturidade aos níveis de dimensão e subdimensão. Por sua vez, para a maturidade geral da empresa, ela é definida como o valor mínimo entre as notas das três dimensões que compõem o modelo, de forma que $M_{geral} = \min(M_1, M_2, M_3)$. A Tabela 12 apresenta as faixas de pontuação associadas a cada nível de maturidade, proposto por Akdil (2018).

Tabela 12 – Exemplos de faixas de pontuação para definição de nível de maturidade

AKDIL et al. (2018)		
NÍVEL DE MATURIDADE	INTERVALO	
	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
Nível 0: Ausente	0,0	0,9
Nível 1: Existente	0,9	1,8



AKDIL <i>et al.</i> (2018)		
	INTERVALO	
NÍVEL DE MATURIDADE	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
Nível 2: Sobrevivência	1,8	2,7
Nível 3: Maturidade	2,7	3,0

FACCHINI (2020)		
	INTERVALO	
NÍVEL DE MATURIDADE	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
Nível 1: Ignorando	0,0	1,0
Nível 2: Definindo	1,0	2,0
Nível 3: Adotando	2,0	3,0
Nível 4: Gerenciado	3,0	4,0
Nível 5: Integrado	4,0	

Fonte: adaptado de Akdil *et al.* (2018) e Facchini (2020).

Uma terceira variação das métricas é a aplicada por Facchini (2020), em que se atribuem pesos em todos os níveis de análise: item/questão, subdimensões e dimensões. Akdil *et al.* (2018) e Facchini (2020) propõem critérios para definir a maturidade por nível de maturidade (*vide* Tabela 12), os quais são utilizados para todos os níveis de análise. Finalmente, os autores não propõem uma métrica para a maturidade geral, de forma que a análise é realizada para cada dimensão. A opção por não apresentar uma métrica geral permite que haja um foco sobre fraquezas e fortalezas das empresas avaliadas, evitando, ainda, uma métrica geral de ordenamento que possa ser perseguida e utilizada como referência pelas empresas sem uma reflexão aprofundada sobre o modelo.

O Modelo Senai considera cinco níveis de maturidade, diga-se: 1) otimização; 2) sensorização e conectividade; 3) visualização e transparência; 4) capacidade preditiva; e 5) flexibilidade e adaptabilidade. Enquanto as duas primeiras compõem uma fase de digitalização, o modelo avalia que apenas, a partir do terceiro nível, se pode considerar a empresa como integrante da indústria 4.0 (*vide* Figura 9).

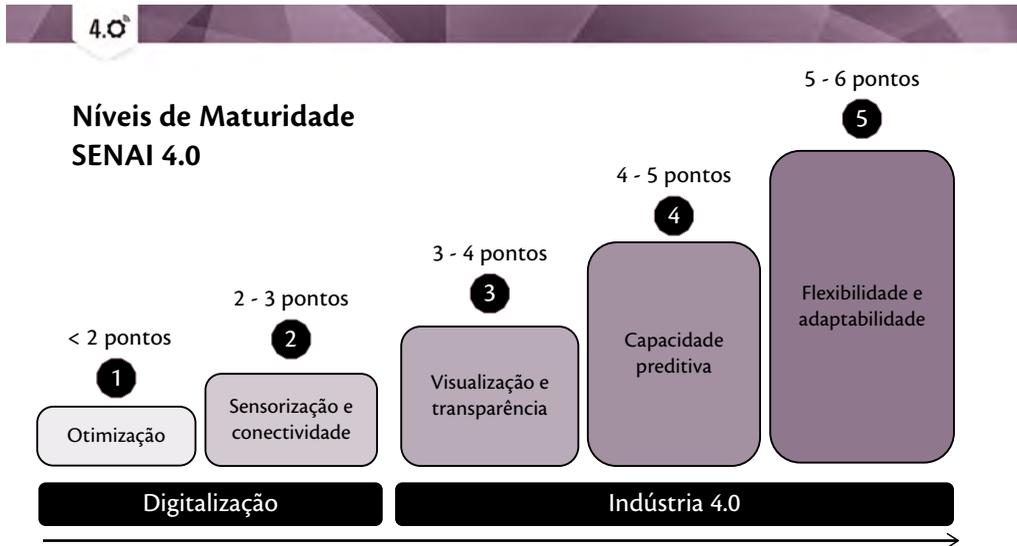


Figura 9 – Níveis de maturidade do Modelo de Maturidade do Senai

Fonte: Senai (s.d.).

O último elemento da sistemática apresentada por Akdil *et al.* (2018) é a denominação e descrição dos níveis de maturidade da empresa. A definição desses níveis tem como objetivo contextualizar a pontuação associada a cada nível, permitindo um entendimento prático da situação esperada em cada faixa e, assim, proporcionando tanto uma avaliação da proximidade da descrição com o atual estado da empresa analisada, quanto uma facilidade da definição de estratégias de implementação partindo de tal descrição. No entanto, as descrições devem ser construídas de forma conectada às perguntas estabelecidas no questionário para garantir maior realidade. Na análise realizada, percebe-se que as descrições têm um caráter genérico e tem uma visão tanto sobre os requisitos da indústria 4.0 a serem atingidos, quanto sobre os resultados obtidos em termos de digitalização dos processos, dos produtos e sobre as consequências para além da fronteira das empresas. A Tabela 13 apresenta exemplos de descrições dos níveis de maturidade. Leyh *et al.* (2017) e Akdil *et al.* (2018) apresentam descrição tanto para a maturidade da empresa como um todo quanto para as dimensões de análise, permitindo uma avaliação mais minuciosa.



Tabela 13 – Exemplo de descrição dos requerimentos associados aos níveis de maturidade

NÍVEL DE MATURIDADE	DIMENSÃO: <i>Smart Products and Services</i>
Nível 0: Ausência	Companhia não atende a nenhum requerimento para indústria 4.0. Alguns dos requisitos estão em nível baixo.
Nível 1: Existência	Produtos da companhia são capazes de comunicar com outros produtos ou plataformas, máquinas e sistemas externos, assim como coletar dados. Produtos podem ser rastreados enquanto se movem entre estágios e áreas de distribuições internas. A companhia oferece serviço/informações apenas para seu negócio com base em dados obtidos pelos produtos.
Nível 2: Sobrevivência	Produtos da companhia são capazes de comunicar e coletar dados. Adicionalmente, produtos podem manter dados gerados nos próprios sistemas ou na nuvem. Produtos podem realizar descrição, diagnóstico ou previsão utilizando tais dados. Produtos podem ser rastreados enquanto se movem entre a produção e a distribuição até que atinjam seus consumidores. Companhia oferece serviço/informação para seu negócio e consumidores com base em dados obtidos pelos produtos.
Nível 3: Maturidade	Produtos da companhia são capazes de se comunicar com outros sistemas, coletando dados e mantendo-os em seus sistemas ou na nuvem. Adicionalmente, produtos tem uma plataforma na qual seus aplicativos estão trabalhando. Produtos podem realizar descrição, diagnóstico ou previsão utilizando tais dados. Produtos podem ser rastreado ao longo de todo o seu ciclo de vida. Companhias oferecem serviços/informações para seu negócio, clientes e parceiros com base em dados obtidos pelos produtos.

Fonte: adaptado de Akdil *et al.* (2018).

Finalmente, alguns documentos contêm propostas de *roadmap* e recomendações a serem seguidas a partir de cada nível de maturidade (FACCHINI *et al.*, 2019; VEILE *et al.*, 2019). De forma antagônica, Rauch *et al.* (2020) propõem uma metodologia de priorização que considere os potenciais de retorno e dificuldade de implementação caso a caso, ao invés de recomendações gerais. No entanto, a metodologia de Rauch não prevê uma adoção sequencial, considerando dependências que possam existir entre as atividades de implementação.

Por fim, os métodos de modelo de maturidade apresentados objetivam avaliar o nível de desenvolvimento das capacidades das firmas de forma que possam incorporar e aprofundar o uso das tecnologias da indústria 4.0. Esses modelos são flexíveis o suficiente para permitir uma adaptação às necessidades setoriais e nacionais, desenhando o quadro da maturidade sob o ponto de vista local. Nesse sentido, esses métodos podem ser utilizados de forma complementar aos apresentados nas seções anteriores e eles têm como maior foco a identificação de tecnologias e problemas setoriais que podem se beneficiar delas.



Em contrapartida à grande flexibilidade, esses métodos exigem bastante atenção às decisões tomadas em termos de questões, critérios e dimensões consideradas e os subsequentes impactos que podem ter sobre a sinalização e as escolhas tomadas com base em tais resultados. É desejável que o modelo adotado não sofra grandes alterações ao longo dos anos de aplicação, permitindo algum nível de comparação temporal. Finalmente, tomadas as devidas precauções, os métodos mostram bastante potencial em indicar direcionamento tanto para decisões a nível empresarial quanto a nível setorial.



5. QUESTIONÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0

No intuito de explorar a susceptibilidade à transformação digital de empresas brasileiras, tendo a questão da normalização como um dos principais elementos facilitadores de tal movimento, decidiu-se pela aplicação de um questionário a empresas com alto potencial de implementação de tecnologias 4.0. Mais especificamente, enviamos um convite para participação do questionário a associados aos membros do Grupo de Trabalho de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Câmara Brasileira da Indústria 4.0 (Câmara I4.0). Parte do questionário aplicado tinha como objetivo obter informações acerca do nível de conhecimento sobre as tecnologias 4.0 e a existência de projetos de implementação delas, além de buscar capturar informações acerca daquelas com maior aplicabilidade e dificuldades existentes para tal. Dessa forma, para elaboração do questionário, foi considerada não apenas uma visão acerca das tecnologias, mas também do nível de maturidade das empresas. Ainda que um número limitado de empresas e setores tenha participado do questionário, os resultados dele podem servir como uma sinalização para caminhos e políticas relacionadas à indústria 4.0, em especial aquelas voltadas primordialmente aos setores envolvidos. É importante lembrar, no entanto, que os resultados obtidos aqui têm características próprias e a extrapolação deles para um universo distinto de empresas deve ser feita com precaução. Finalmente, a aplicação do formulário pode ser entendida como um exercício inicial que pode apoiar a elaboração de um modelo de maturidade voltado às necessidades e aos objetivos nacionais.

5.1. Principais resultados

O questionário foi aplicado entre os dias 25 de novembro e 8 de dezembro de 2020, contando com o acesso de 96 pessoas e a participação de 75 delas. O questionário completo está disponível no Anexo 2 deste documento e foi dividido em três partes: perfil; susceptibilidade à transformação digital; e normatização².

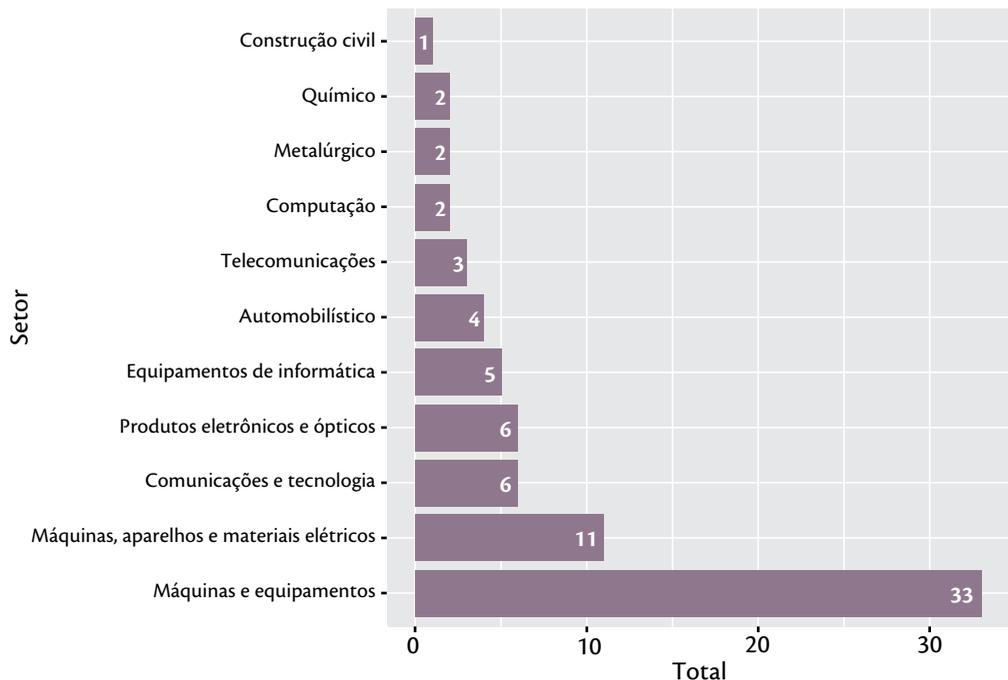
A parte inicial do formulário dedicou-se a questões do perfil dos respondentes, na qual, dentre outras, solicitaram-se informações sobre o setor e o porte da empresa na qual trabalha. Ainda

² Este documento restringe sua atenção às questões das duas partes iniciais, cabendo ao relatório de normatização abordar os resultados e tópicos da parte final do questionário. (CGEE, 2021).



nessa parte, buscou-se entender se a opinião do respondente representa a visão da empresa na qual trabalha e se seu cargo tem poder decisório sobre questões relacionadas à indústria 4.0. A Figura 10 apresenta o perfil dos respondentes com base nas questões mencionadas.

Como pode ser visto na Figura 10, o setor de *Máquinas e equipamentos* surge como o mais representativo com 33 pessoas (44% dos respondentes), seguido de *Máquinas, aparelhos e materiais elétricos* com 11 pessoas (15% dos respondentes). Na figura, verifica-se que 38 pessoas classificaram a empresa na qual trabalham como de médio porte, enquanto 28 indicam trabalhar em empresas de grande porte, ou seja, com receita acima de R\$ 300 milhões anuais. No que se refere aos cargos ocupados, 67 pessoas (89%) indicam estar em posição de nível decisório quanto a questões relacionadas às tecnologias da indústria 4.0, enquanto 69 afirmam que sua opinião representa a visão da empresa onde trabalha quanto ao tema. Assim, entende-se que, em geral, o público tem poder decisório e sua visão representa a opinião da instituição onde trabalha. Por sua vez, tais empresas são majoritariamente de grande e médio porte do setor de *Máquinas e equipamentos*, e *Máquinas, aparelhos e materiais elétricos*.



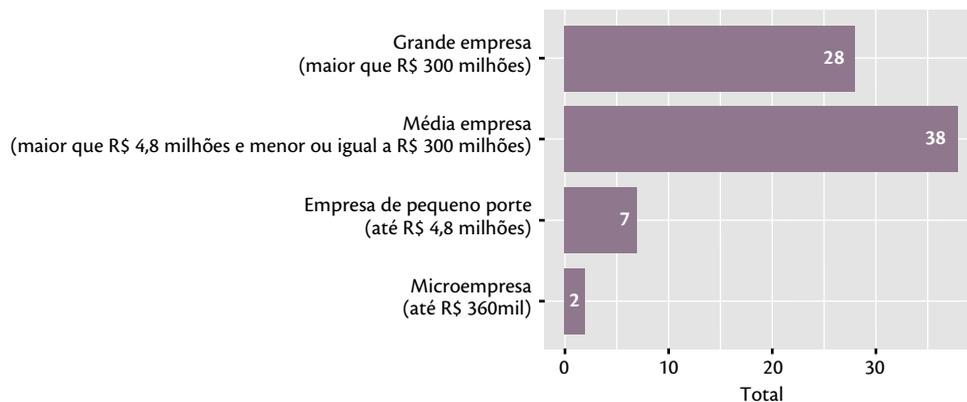


Figura 10 – Perfil dos respondentes com base nas questões mencionadas

Fonte: elaboração própria.

Obs.: os números correspondem aos respondentes que participaram da pesquisa.

Para iniciar um diagnóstico sobre a susceptibilidade das empresas à transformação digital, questionou-se qual o nível de relacionamento da empresa com relação à indústria 4.0. Como pode ser visto na Figura 11 – Relacionamento com a indústria 4.0, a maioria dos respondentes aponta para o desenvolvimento de alguns projetos (45%) ou para um total engajamento (35%). Adicionalmente, outras 15 pessoas (20%) colocaram-se na posição de não possuírem investimentos em tais tecnologias.

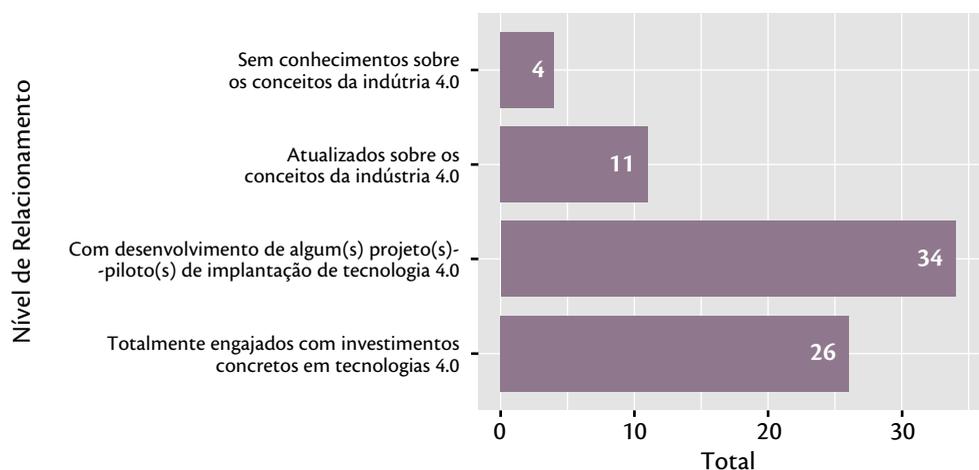


Figura 11 – Relacionamento com a indústria 4.0

Fonte: elaboração própria.

Obs.: os números correspondem aos respondentes que participaram da pesquisa.



Foi solicitado também que o respondente apontasse quais das afirmativas descrevem a realidade atual da digitalização nas suas instituições. Tomada individualmente, a opção 1 foi selecionada por 51 pessoas, enquanto as opções 2 e 3 foram selecionadas por 35 e 33 pessoas, respectivamente (vide Figura 12). Quando foram analisados os conjuntos de seleções, observa-se que a opção 1 foi selecionada, isoladamente, por 19 pessoas, enquanto o trio que engloba as opções 1, 2 e 3 foi elegida 17 vezes e as duplas 1 e 2 foram selecionadas 25 vezes. Esse resultado indica que a “Opção 1 – Os sistemas de TI são usados para tornar alguns processos repetitivos mais eficientes” reflete bem a realidade da maioria dos participantes, em especial quando aliadas às expressões das opções 2 e 3.

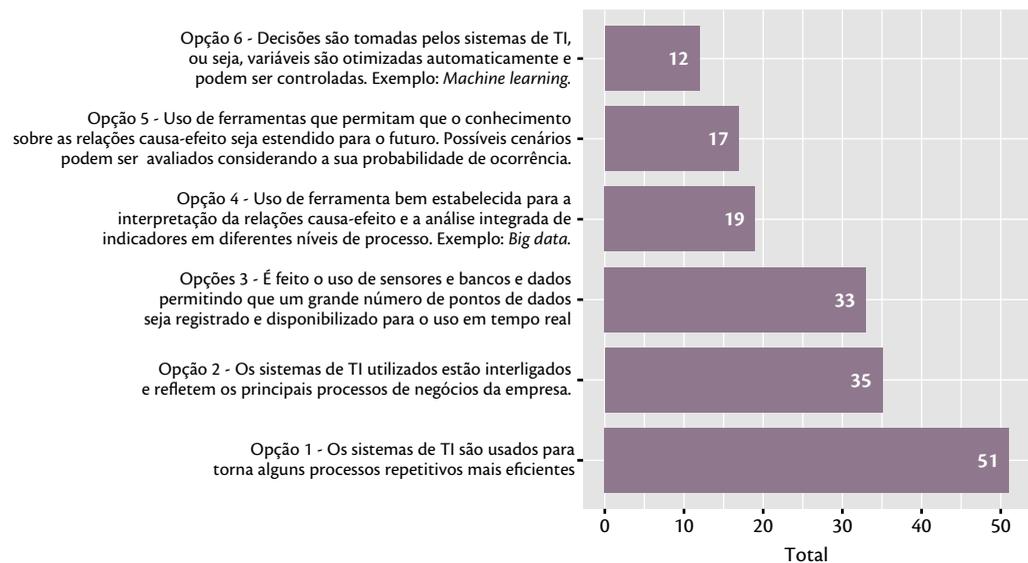


Figura 12 – Realidade do uso das tecnologias

Fonte: elaboração própria.

Obs.: os números correspondem aos respondentes que participaram da pesquisa.

Dos participantes cuja empresa está desenvolvendo alguns projetos-pilotos, 70% apontam para a opção 1 da questão de realidade de uso, ou seja, que “Os sistemas de TI são usados para tornar alguns processos repetitivos mais eficientes”, e apenas 11% deles afirma que “Decisões são tomadas pelos sistemas de TI” (opção 6). Das firmas que estão totalmente engajadas, 65% dizem que “É feito um uso de sensores e bancos de dados permitindo que um grande número de pontos de dados seja registrado e disponibilizado para uso em tempo real” (opção 3) e no máximo 34% deles apontou para as opções 4, 5 ou 6 da realidade de uso, as quais refletem aplicações mais avançadas das tecnologias.



No que se refere às tecnologias que poderão ter utilidade para a empresa, os respondentes julgaram que “inteligência artificial”, “sensores inteligentes”, “computação na nuvem” e “big data” são as de maior destaque, com cerca de 65% das pessoas selecionando ao menos uma delas (vide Figura 13). Por sua vez, as seis pessoas que julgaram haver outras tecnologias citaram “comunicação 5G”, “digital twin” e “robótica altamente colaborativa”. É importante ressaltar que as outras opções de tecnologias foram selecionadas por ao menos 28% das pessoas, indicando um considerável interesse nelas. Tendo em vista que essas tecnologias podem ser utilizadas de forma complementar nas empresas, avaliou-se que os conjuntos de tecnologias mais selecionados incluem as tecnologias descritas nas opções 1, 9 e 3, e que o tamanho do conjunto tem média de 6,25 opções tecnológicas.

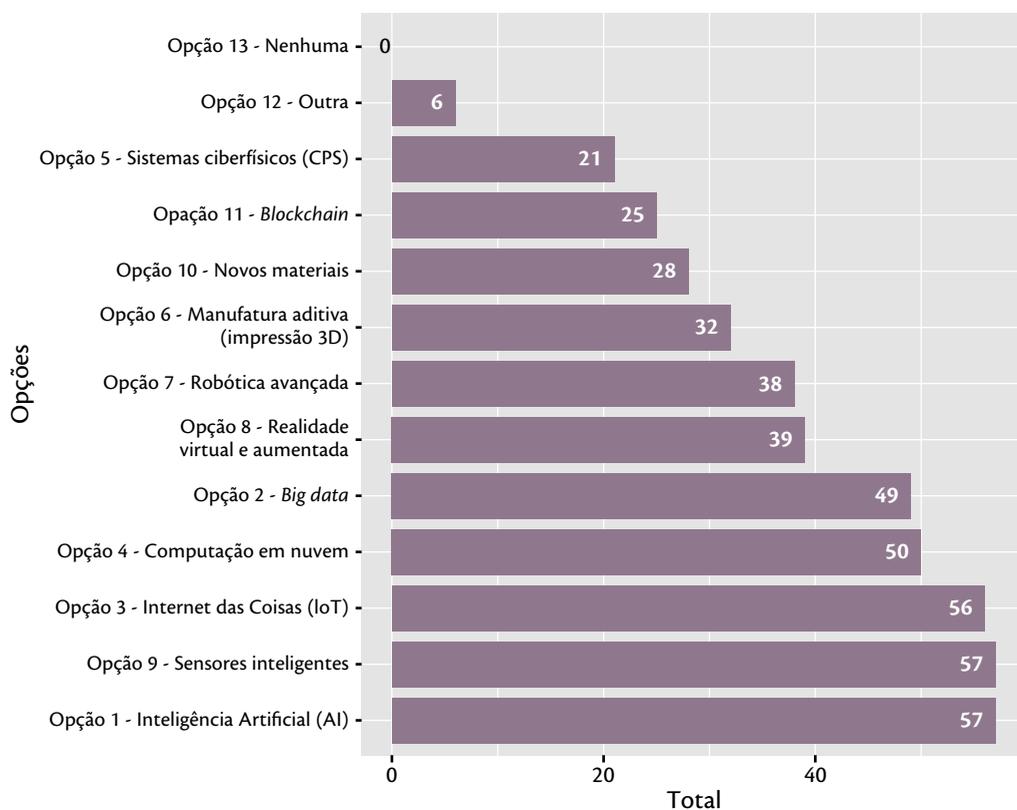


Figura 13 – Percepção sobre tecnologias mais úteis

Fonte: elaboração própria.

Obs.: os números correspondem aos respondentes que participaram da pesquisa.



Para os respondentes que classificaram sua empresa em “com desenvolvimento de projetos-pilotos” e “total engajamento”, não houve distinções entre as tecnologias percebidas como mais úteis, de forma que a percepção segue o padrão identificado na Figura 13.

No que se refere à percepção de dificuldade no uso dessas tecnologias, 51 pessoas (68%) afirmaram se deparar com dificuldades, enquanto outras 15 (20%) não percebem dificuldade e as demais 9 respondentes não souberam ou preferiram não opinar. Entre os que percebem dificuldade, apontou-se para o alto investimento (70%), a falta de mão de obra qualificada (68%) e a infraestrutura tecnológica (55%) como principais barreiras ao uso, como explicitado na Figura 14. A Figura 15 mostra que os pares de dificuldade mais selecionados foram opção 2 e 7; opção 1 e 7; opção 2 e 4; opção 6 e 7. Das 23 pessoas que indicaram que a falta de conhecimento seja uma dificuldade, 20 delas também apontam para a falta de mão de obra qualificada. Em média, os respondentes apontaram para cerca de três dificuldades observadas.

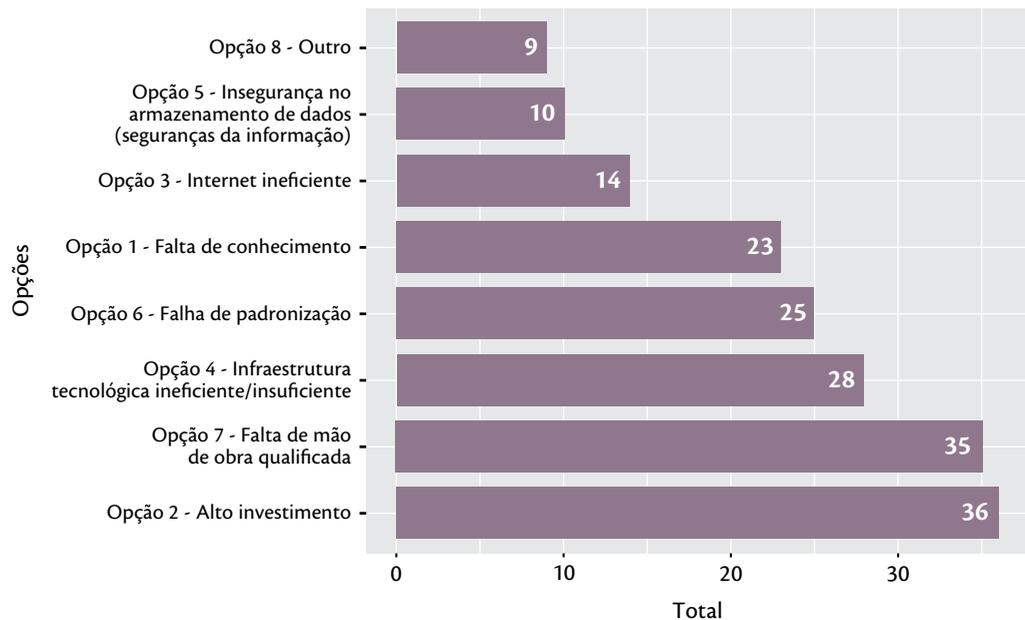


Figura 14 – Dificuldades de uso das tecnologias

Fonte: elaboração própria.

Obs.: os números correspondem aos respondentes que participaram da pesquisa.

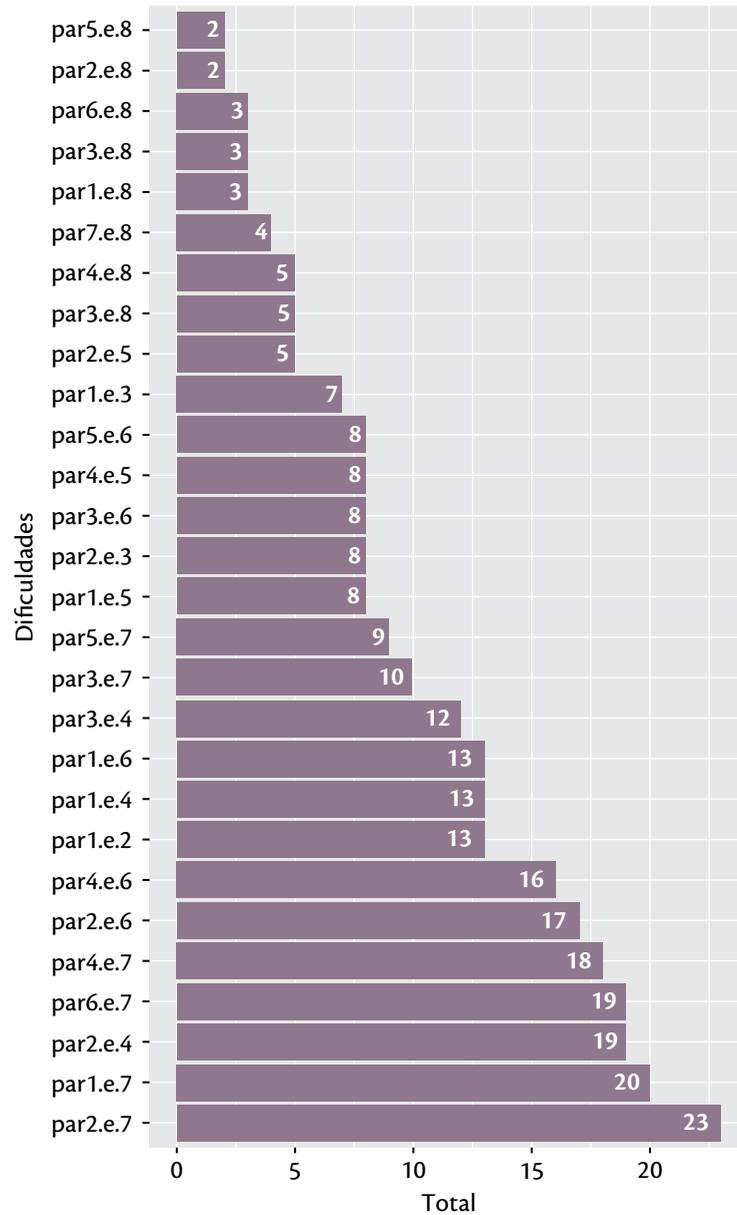


Figura 15 – Pares de tipo de dificuldade selecionados

Fonte: elaboração própria.

Obs.: os números correspondem aos respondentes que participaram da pesquisa.



Ainda, os resultados das questões de nível de relacionamento foram comparados, e os resultados das dificuldades enfrentadas são apresentados na Figura 11. Verifica-se que, das pessoas cuja empresa conta com desenvolvimento de projetos-piloto, 65% apontam para o *alto investimento* como dificuldade e 50% apontam para a *falta de mão de obra qualificada*. Para as firmas com total engajamento, a dificuldade mais mencionada é aquela relacionada à mão de obra, enquanto a falta de infraestrutura adequada e a falta de padronização foram marcadas por 42% dos respondentes.

Por fim, conclui-se que a aplicação do questionário teve como um dos objetivos avaliar a susceptibilidade de um grupo de pessoas e as empresas que trabalham em engajar a transformação digital associada às tecnologias da indústria 4.0. Tendo em vista o número restrito de perguntas que se poderia introduzir nessa oportunidade, incluíram-se questões que permitisse uma inferência sobre o engajamento das empresas e que pudesse servir de base para a formulação de um modelo de maturidade que atenda às necessidades nacionais.

Desse exercício inicial ressalta-se a necessidade da aplicação do questionário para uma base ampla de empresas, tanto em termos de setores, quanto de porte e de engajamento com a indústria 4.0. Tendo em vista que, tanto para empresas com “Total engajamento” quanto para aquelas com “Desenvolvimento de projetos-piloto”, a realidade de uso das tecnologias tem sido primordialmente para “Tornar processos repetitivos mais eficientes” e que usos mais avançados, ainda, não são realidade em tantas dessas empresas, pode-se desenhar um modelo de maturidade que capture as dificuldades relacionadas à passagem de um nível para outro. Adicionalmente, pode-se explorar questões que permitam melhor diagnóstico acerca dos altos custos de investimentos e da falta de mão de obra qualificada. Contudo, captou-se uma percepção de utilidade das tecnologias de maneira bastante homogênea entre os grupos, de forma que pode ser de interesse entender se esse resultado decorre da grande concentração das empresas em um setor específico ou se é um resultado que pode ser expandido para outros setores.



REFERÊNCIAS

- ACCENTURE. **Digital Industry 4.0** Diagnostic, 2018. Disponível em: <https://www.accenture.com/il-en/insight-industrial-internet-things>. Acesso em: 9 jun. 2018.
- AKDIL, K. Y.; USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In: USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. **Industry 4.0: Managing the digital transformation**. 2018. (Springer Series in Advanced Manufacturing). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4
- ANDREONI, A. **Industrial ecosystems and policy for innovative industrial renewal: a new framework and emerging trends in Europe**. Londres: SOAS University of London, 2017, 38 p. Disponível em: https://tem.fi/documents/1410877/4430406/Antonio_Andreoni.pdf/8a499465-50e2-4bcb-959b-59c5202663f7/Antonio_Andreoni.pdf.pdf
- ASDECKER, B.; FELCH, V. Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. **Journal of Modelling in Management**, v. 13, n. 4, p. 840-883, 2018. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JM2-03-2018-0042/full/html>
- BECKER, Adriano *et al.* Os conceitos da indústria 4.0 associados a abordagem da capacidade dinâmica. **Anais da Engenharia de Produção**, v. 2, n. 1, p. 123-136, July 2018. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engprod/article/view/203>.
- BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUß, J. Developing maturity models for it management: a procedure model and its application. **Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 3, p. 213-222, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-009-0044-5>
- 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, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/2/384>



BLOCK, C.; FREITH, S.; MORLOCK, F.; PRINZ, C.; KREIMEIER, D.; KUHLENKÖTTER, B. Industrie 4.0 als soziotechnisches Spannungsfeld. **Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb**, v. 110, n. 10, p. 657-660, 2015. Disponível em: <https://www.degruyter.com/view/journals/zwf/110/10/article-p657.xml>

BONILLA, S. H.; SILVA, H. R. O.; SILVA, M. T.; DA GONÇALVES, R. F.; SACOMANO, J. B. Industry 4.0 and sustainability implications: a scenario-based analysis of the impacts and challenges. **Sustainability**, v. 10, n. 10, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/10/3740>. Acesso em: 9 jun. 2018.

BOSTON CONSULTING GROUP. **Digital acceleration index**, 2018. Disponível em: <https://www.bcg.com/capabilities/technology-digital/digital-acceleration-index.aspx>. Acesso em: 9 jun. 2018.

BROZZI, R.; D'AMICO, R. D.; MONIZZA, G. P.; MARCHER, C.; RIEDL, M.; MATT, D. Design of Self-assessment Tools to measure industry 4.0 readiness. A methodological approach for craftsmanship SMEs. In: IFIP International Conference on Product Lifecycle Management 2018, Turin, Italy, 2-4 July 2018. **Proceedings...** Springer: Cham, Switzerland, 2018. p. 566–578. Disponível em: <https://hal.inria.fr/hal-02075583/document>

BURMEISTER, C.; LÜTTGENS, D.; PILLER, F.T. Business model innovation for Industrie 4.0: why the 'industrial internet' mandates a new perspective on innovation. **Die Unternehmung**, v. 70, n. 2, p. 124-152, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2571033

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Diagnóstico e contextualização do arcabouço normativo para a implementação da Indústria 4.0 no Brasil**. Nota Técnica Câmara da Indústria 4.0. set. 2020. Disponível em: <https://camara40.com.br/wp-content/uploads/2021/04/Nota-Te%CC%81cnica-Normalizac%CC%A7a%CC%83o-Industria-4.0.pdf>

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Indústria 4.0: Arcabouço normativo para a implementação da Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2021. (Série Documentos Técnicos, 29). Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivo-camara-industria/nt_arcabouco-normativo-implementacao-industria-4-0_2021.pdf



CHONSAWAT, N.; SOPADANG, A. **The Development of the maturity model to evaluate the Smart SMEs 4.0 Readiness**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, Bangkok, Thailand, 5-7 March 2019; Proceedings... IEOM: of the Bangkok, Thailand, 2019, p. 354-363. Disponível em: <http://ieomsociety.org/ieom2019/papers/97.pdf>

CLUBE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA DE LONDRINA [CEAL]. **Planejamento do Ecossistema de Inovação de Londrina**. Londrina: CEAL, s.d., 23 p. Disponível em: <http://ceal.londrina.br/publicacoes/relatorio-final-do-planejamento-do-ecossistema-de-inovacao-de-londrina>

COLLI, M.; MADSEN, O.; BERGER, U.; MØLLER, C.; WÆHRENS, B.V.; BOCKHOLT, M. Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. **IFAC-Pap.**, v. 51, n. 11, p. 1347-1352, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318314678>. Acesso em: 9 jun. 2018.

CULOT, G.; ORZES, G.; SARTOR, M.; NASSIMBENI, G. The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier, v. 157, ed. C, 2020. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/tefoso/v157y2020ics0040162520309185.html>

DARBANHOSSEINIAMIIRKHIZ, M.; ISMAIL, W.K.W. Advanced manufacturing technology adoption in SMEs: an integrative model. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 7, n. 4, p. 112-120, 2012. Disponível em: <https://www.jotmi.org/index.php/GT/article/view/art287>

DAVIES, R.; COOLE, T.; SMITH, A. Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1288-1295, 2017. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S235197891730464X?token=E68CCB59BF4986F83B8C83AD00F55A11138FEAD065A5204620B9CE8163FBE902EF0AFDF9CAFDB97E304777B73219A577&originRegion=us-east-1&originCreation=20210824220348>

DE BRUIN, T.; FREEZE, R.; KULKARNI, U.; ROSEMANN, M. Understanding the main phases of developing a maturity assessment model. **ACIS Proceedings**, v. 109, 2005. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/acis2005/109>.



DE CAROLIS, A.; MACCHI, M.; NEGRI, E.; TERZI, S. A Maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. In: LÖDDING, H.; RIEDEL, R.; THOBEN, K.D.; VON CIEMINSKI, G.; KIRITSIS, D. (Ed.). **Advances in production management systems: The path to intelligent, collaborative and sustainable manufacturing**. APMS 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Hamburgo: Springer, Cham, p. 13–20, 2017.

DE CAROLIS, A.; MACCHI, M.; NEGRI, E.; TERZI, S. Guiding manufacturing companies towards digitalization: A methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. 2017 **International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**, 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8279925>

DE JESUS, C.; LIMA, R.M. Literature search of key factors for the development of generic and specific maturity models for industry 4.0. **Applied Sciences**, v. 10, n. 17, p. 1-19, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/5825>. Acesso em: 1º out. 2020.

DELOITTE. **Digital maturity model**, 2018. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/deloitte-digital-maturity-model.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2018.

ERNST & YOUNG. **Digital readiness assessment: Does your business strategy work in a digital world?**, 2018. Disponível em: <https://digitalreadiness.ey.com/>. Acesso em: 9 jun. 2018.

EROL, S.; JÄGER, A.; HOLD, P.; OTT, K.; SIHN, W. Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 13-18, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116301500>

FACCHINI, F.; OLESKÓW-SZŁAPKA, J.; RANIERI, L.; E URBINATI, A. Maturity model for logistics 4.0: an empirical analysis and a roadmap for future research. **Sustainability**, v. 12, n. 1, 2019, 86 p. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/86>

FELCH, V.; ASDECKER, B.; SUCKY, E. Maturity models in the age of industry 4.0: do the available models correspond to the needs of business practice? In: ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES (HICSS). 52., Honolulu: University of Hawai'i at Manoa, 2019. **Proceedings...** Honolulu: University of Hawai'i at Manoa, 2019, p.



5165-5174, Disponível em: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/59953/0513.pdf>. Acesso em: 1º out. 2020.

FORAY, D. *et al.* **Guide to research and innovation strategies for smart specialisations (RIS3)**. Luxemburgo: Publication Office of the European Union, 2012, 126 p. Disponível em: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/presenta/smart_specialisation/smart_ris3_2012.pdf

FRANK, A.G.; DALENOGARE, L.S.; AYALA, N.F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527319300040>

FUNDAÇÃO CERTI. **Planejamento do Ecossistema de Inovação de Ponta Grossa**. 2017. Disponível em: https://www.pontagrossa.pr.gov.br/files/mapeamento_de_inovacao_-_parte_2_o.pdf

GANZARAIN, J.; ERRASTI, N. Three stage maturity model in SME's toward Industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9 n. 5, p. 1119-1128, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/81579925.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2018.

GÖKALP, E.; ŞENER, U.; EREN, P.E. Development of an assessment model for industry 4.0: Industry 4.0-MM. In: MAS, A.; MESQUIDA, A.; O'CONNOR, R.; ROUT, T.; DORLING, A. (Ed.). **Software Process Improvement and Capability Determination**. SPICE 2017. **Communications in Computer and Information Science**, Springer, v. 770, pp. 128–142, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319640255_Development_of_an_Assessment_Model_for_Industry_40_Industry_40-MM. Acesso em: 9 jun. 2018.

GOKSEN, Y.; CEVIK, E.; AVUNDUK, H. A Case analysis on the focus on the maturity models and information technologies. **Procedia Economics and Finance**, v. 19, p. 208-216, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115000222>. Acesso em: 9 jun. 2018.

GRACEL, J.; ŁEBKOWSKI, P. The Concept of industry 4.0 related manufacturing technology maturity model. **Decision Making in Manufacturing Services**, v. 12, p. 17-31, 2018. Disponível



em: https://www.researchgate.net/publication/338813509_The_Concept_of_Industry_4.0_Related_Manufacturing_Technology_Maturity_Model_Manutech_Maturity_Model_MTMM. Acesso em: 9 jun. 2018.

HAMIDI, S.R.; AZIZ, A.A.; SHUHIDAN, S.M.; AZIZ, A.A.; MOKHSIN, M. SMEs maturity model assessment of ir 4.0 digital transformation. In: IOKMAN, A.; YAMANAKA, T.; LÉVY, P.; CHEN, K.; KOYAMA, S. (Ed.). Proceedings of the 7th International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2018. KEER 2018. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 739, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-10-8612-0_75

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 49., Koloa, HI, 5-8 Jan. 2016. **Proceedings...** Koloa, HI, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7427673>

HIZAM-HANAFIAH, M.; SOOMRO, M.A.; ABDULLAH, N.L. Industry 4.0 Readiness Models: A systematic Literature Review of Model Dimensions. **Information**, v. 11, n. 7, 2020, 364 p. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2078-2489/11/7/364>

HUFFMAN, J.; WHITMAN, L.E. Aligning enterprise analytics to business process capability maturity. **IFAC-PapersOnline**, v. 48, n. 3, p. 2220–2225, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315006576>. Acesso em: 9 jun. 2018.

IBM. **Smart grid maturity model: creating a clear path to the smart grid**, 2009. Disponível em: http://public.dhe.ibm.com/software/in/industry/Smart_Grid_Maturity_Model.pdf. Acesso em: 9 jun. 2018.

JÆGER, B.; HALSE, L.L. The IoT technological maturity assessment scorecard: a case study of norwegian manufacturing companies. **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS)**, p. 143-150, 2017. Disponível em: <https://hal.inria.fr/hal-01666214>. Acesso em: 9 jun. 2018.

JAIN, V.; AJMERA, P. Modelling the enablers of industry 4.0 in the Indian manufacturing industry. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2020.



Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-07-2019-0317/full/html>

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Deutschlands zukunft als produktionsstandort sichern: umsetzungsempfehlungen für das zukunftsprojekt industrie 4.0. **DFKI und Deutsche Post**, 2013. Disponível em: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Abschlussbericht_Industrie4.0_barrierefrei.pdf

KALTENBACH, F.; MARBER, P.; GOSEMANN, C.; BÖLTS, T.; KÜHN, A. Smart services maturity level in Germany. Stuttgart, Germany: **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8436329/>.

KAMBLE, S.S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. **Computers in Industry**, v. 101, p. 107-119, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361518301453>

KATSMA, C.; MOONEN, H.; VAN HILLEGERSBERG, J. Supply chain systems maturing towards the Internet-of-Things: a framework. **BLD 2011 Proceeding**, v. 34, p. 478-494, 2011. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/bled2011/34>. Acesso em: 9 jun. 2018.

KLÖTZER, C.; PFLAUM, A. Toward the development of a maturity model for digitalization within the manufacturing industry's supply chain. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 50th, p. 4210–4219, 2017. **Proceedings...** 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/e62a/75a1c1aa3c69eb7738199f51a21ef8b4901f.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2018.

KLUTH, A.; JÄGER, J.; SCHATZ, A.; BAUERNHANSL, T. Method for a systematic evaluation of advanced complexity management maturity. **Procedia CIRP**, v. 19, p. 69-74, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711400729X>. Acesso em: 9 jun. 2018.

KOEHLER, J.; WOODTLY, R.; HOFSTETTER, J. An impact-oriented maturity model for IT-based case management. **Information Systems**, v. 47, p. 278-291, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306437913001683>. Acesso em: 9 jun. 2018.



KOLLA, S.S.V.K.; MINOUFEKR, M.; PLAPPER, P. Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs. **Procedia CIRP** v. 81, p. 753-758, 2019. Disponível em: <https://orбилu.uni.lu/bitstream/10993/40834/1/1-s2.0-S2212827119304949-main.pdf>

KOLLA, S.S.V.K.; MINOUFEKR, M.; PLAPPER, P. Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs. **Procedia CIRP** v. 81, p. 753-758. 2019. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212827119304949?token=5D29676897D1FAC3F30BF7CA3C2DCB2A7A8DC4F305F7C56574955FEE47891C8675D09DooCCBA4953F7D946CC192EBF9A&originRegion=us-east-1&originCreation=20210825022914>

KPMG. **Digital readiness assessment**, 2016. Disponível em: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/ch-digital-readiness-assessment-en.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2018.

KROWAS, K.; RIEDEL, R. Planning guideline and maturity model for intra-logistics 4.0 in SME. In: IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS 2019, Austin, TX, USA, 1-5 September 2019. **Proceedings...** Springer: Cham, Switzerland, 2019; p. 331-338.

LEYH, C.; SCHÄFFER, T.; BLEY, K.; BAY, L. The application of the maturity model SIMMI 4.0 in selected enterprises. **Conference: 23rd Americas Conference on Information Systems, AMCIS**, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Christian-Leyh/publication/317505970_The_Application_of_the_Maturity_Model_SIMMI_4o_in_Selected_Enterprises/links/593c6c2aa6fdcc17a9051272/The-Application-of-the-Maturity-Model-SIMMI-4o-in-Selected-Enterprises.pdf

LEYH, C.; SCHÄFFER, T.; BLEY, K.; FORSTENHÄUSLER, S. SIMMI 4.0: a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on industry 4.0. Gdansk: 2016. **Federated Conference on Computer Science and Information Systems**, p. 1297-1302, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7733413>. Acesso em: 9 jun. 2018.

LICHTBLAU, K.; STICH, V.; BERTENRATH, R.; BLUM M.; BLEIDER M.; MILLACK A.; SCHMITT, K.; SCHMITZ, E.; SCHRÖTER M. IMPULS industrie 4.0 readiness. **Impuls-Stiftung des VDMA**, 2015. Disponível em: http://www.impuls-stiftung.de/documents/3581372/4875823/Industrie+4.0+Readiness+IMPULS+Studie+Oktober+2015_eng.pdf. Acesso em: 9 jun. 2018.



MCKINSEY & COMPANY. **Strategy: Building a winning digital strategy**, 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/solutions/digital-20-20/our-assessments/strategy>. Acesso em: 9 jun. 2018.

MENON, K.; KÄRKKÄINEN, H.; LASRADO, L. A. Towards a maturity modeling approach for the implementation of industrial internet. **Proceedings of the 20th Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS 2016)**, v. 38, 2016, 11 p. Disponível em: https://tutcris.tut.fi/portal/files/11871275/PACIS2016_Research_in_Progress_Paper639.pdf. Acesso em: 9 jun. 2018.

MIGUEZ, T. H. L. *et al.* **Uma visão de política industrial para o Brasil: resultados a partir de uma proposta de matriz tecnológica**. Brasília: BNDES, 2018, 21 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15703>

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, 2018a. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612518301341>. Acesso em: 9 jun. 2018.

MITTAL, S.; ROMERO, D.; E WUEST, T. Towards a Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM₃E). In: MOON *et al.* (Ed.). **APMS - Production Management for Data-driven, Intelligent, Collaborative, and Sustainable Manufacturing**, v.1, ed. II, Springer, p. 155-163, 2018b. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327230099_Towards_a_Smart_Manufacturing_Maturity_Model_for_SMEs_SM3E.

MOKTADIR, M.A.; ALI, S.M.; KUSI-SARPONG, S.; SHAIKH, M.A.A. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: implications for process safety and environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 730-741, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582018301344>

MOSLER, A. **Integrierte Unternehmensplanung: Anforderungen, Lösungen und Echtzeitsimulation im Rahmen von Industrie 4.0**. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017.

MÜLLER, J.; BULIGA, O.; VOIGT, K.I. Fortune favors the prepared: how SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**,



v. 132, p. 2-17, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517312039>

NOTT, C. Big data and analytics maturity model. **IBM**, 2018. Disponível em: <http://www.ibmbigdatahub.com/blog/big-data-analytics-maturity-model>. Acesso em: 9 jun. 2018.

ONGENA, G.; RAVESTEYN, P. Business process management maturity and performance. **Business Process Management Journal**, v. 26, n. 7, p. 132-149, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333816429_Business_process_management_maturity_and_performance_A_multi_group_analysis_of_sectors_and_organization_sizes. Acesso em: 9 jun. 2018.

PIROLA, F.; CIMINI, C.; PINTO, R. Digital readiness assessment of Italian SMEs: A case-study research. **J. Manuf. Technol. Manag.** dec. 2019

PRICEWATERHOUSECOOPERS. **Industry 4.0:** Digital operations self-assessment, 2016. Disponível em: <https://i4o-self-assessment.pwc.de/i4o/landing/>. Acesso em: 9 jun. 2018.

PRICEWATERHOUSECOOPERS. **Industry 4.0:** Enabling Digital Operations, 2018. Disponível em: <https://i4-o-self-assessment.pwc.nl/i4o/landing/>. Acesso em: 9 jun. 2018.

PUCHAN, J.; ZEIFANG, A.; LEU, J.D. Industry 4.0 in practice-identification of industry 4.0 success patterns. In: IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2018), Bangkok, Thailand, 16-19 December 2018. **Proceedings...** IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; p. 1091-1095.

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, 2020, 3559 p. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3559>

ROCKWELL AUTOMATION. **The connected enterprise maturity model**, 2016. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/cie-wp002_-en-p.pdf. Acesso em: 9 jun. 2018.



SABERI, S.; YUSUFF, R.M. Advanced manufacturing technology implementation performance: towards a strategic framework. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, Kuala Lumpur, January 22-24, 2011. **Proceedings...** Kuala Lumpur, 2011. Disponível em: <http://ieomsociety.org/ieom2011/pdfs/IEOMo21.pdf>

SCHIFFER, M.; WIENDAHL, H.H.; SARETZ, B. Self-assessment of Industry 4.0 Technologies in Intralogistics for SME's. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems 2019, Austin, TX, USA, 1–5 September 2019; **Proceedings...** Springer: Cham, Switzerland, 2019; p. 339–346.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; TEN HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen steuern. **Acatech Studie**, 2017. Disponível em: <https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-maturity-index-die-digitale-transformation-von-unternehmen-gestalten/>

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises., **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161-166, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307909>. Acesso em: 9 jun. 2018.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI. **Avaliação de maturidade SENAI 4.0**, s.d. Disponível em: <https://www.senai40.com.br/>

SHEEN, D.P.; YANG, Y. Assessment of readiness for smart manufacturing and innovation in Korea. In: 2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON), Evanston, IL, USA, 28 June–1 July 2018; IEEE: **Proceedings...** Piscataway, NJ, USA, 2018; p. 1-5.

SIEPMANN, D. Industrie 4.0: Fünf zentrale paradigmten. In: ROTH, A. (Ed.). **Einführung und umsetzung von industrie 4.0**: grundlagen, vorgehensmodell und use cases aus der praxis. Springer, 2016. Disponível em: <https://www.springer.com/de/book/9783662485040>

SIMETINGER, F.; ZHANG, Z.P. Deriving secondary traits of industry 4.0: A comparative analysis of significant maturity models. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 37, n. 4, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sres.2708>



SONY, M.; NAIK, S. Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: A literature review. **Benchmarking: An International Journal**, v. 27, p. 2213-2232, 2019. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Key-ingredients-for-evaluating-Industry-4.0-for-a-Sony-Naik/082ff12468372ca123b578490bb471c4c675e097>. Acesso em: 9 jun. 2018.

SPRUIT, M.; PIETZKA, K. MD₃M: The master data management maturity model. **Computers in Human Behavior**, v. 51, parte B, p. 1068-1076, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0747563214004828>. Acesso em: 9 jun. 2018.

SZELAGOWSKI, M.; BERNIAK-WOZNY, J. The adaptation of business process management maturity models to the context of the knowledge economy. **Business Process Management Journal**, v. 26, p. 212-238, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335314260_The_adaptation_of_business_process_management_maturity_models_to_the_context_of_the_knowledge_economy. Acesso em: 9 jun. 2018.

TELUKDARIE, A.; BUHULAIGA, E.; BAG, S.; GUPTA, S.; LUO, Z. Industry 4.0 implementation for multinationals. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 316-329, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582018303719>

TONELLI, F.; DEMARTINI, M.; LOLEO, A.; TESTA, C. A Novel methodology for manufacturing firms value modeling and mapping to improve operational performance in the industry 4.0 era. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 122-127, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116311751>. Acesso em: 9 jun. 2018.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2017.1391420?journalCode=tpres20>

TROTTA, D.; GARENGO, P. Assessing Industry 4.0 Maturity: An Essential Scale for SMEs. *In: International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM 2019)*, 8th., Cambridge, UK, 2-4 March 2019; IEEE: **Proceedings...** Piscataway, NJ, USA, 2019; p. 69-74 Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dennis-Trotta-2/publication/333073118_Assessing_Industry_4.0_Maturity_An_Essential_Scale_for_SMEs/



[links/5cdbbd1192851c4eabao64eb/Assessing-Industry-40-Maturity-An-Essential-Scale-for-SMEs.pdf](#)

TUPA, J.; SIMOTA, J.; STEINER, F. Aspects of risk management implementation for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1223-1230, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304560>

VEILE, J.W.; KIEL, D.; MÜLLER, J.M.; VOIGT, K.-I. Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-08-2018-0270/full/html>

WEBER, C.; KÖNIGSBERGER, J.; KASSNER, L.; MITSCHANG, B. M2DDM: A Maturity model for data-driven manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 63, p.173-178, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117304973>. Acesso em: 9 jun. 2018.

WESTERMANN, T.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.; CZAJA, A. Reference architecture and maturity levels for cyber-physical systems in the mechanical engineering industry. **2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering**, p. 1-6, 2016. Disponível: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7753153>. Acesso em: 9 jun. 2018.

YAGIZ AKDIL, K.; USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy. In: USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. **Industry 4.0: Managing the Digital Transformation**. Switzerland: Springer International Publishing, p. 61-94, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319862859_Maturity_and_Readiness_Model_for_Industry_40_Strategy. Acesso em: 1º out. 2020.

YUNIS, M.M.; KOONG, K.S.; LIU, L.C.; KWAN, R.; TSANG, P. ICT maturity as a driver to global competitiveness: A national level analysis. **International Journal of Accounting and Information Management**, v. 20, n. 3, 255-281, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263522300_ICT_maturity_as_a_driver_to_global_competitiveness_A_national_level_analysis. Acesso em: 9 jun. 2018.



ANEXOS



ANEXOS

Tabela A1 – Dimensões e níveis de maturidade de modelos selecionados

MODELO DE MATURIDADE	FONTE	DESCRIÇÃO E ESCOPO	NÍVEIS E DIMENSÕES DE MATURIDADE
<i>Digital Readiness Assessment Maturity Model (DREAMY)</i>	DeCarolis <i>et al.</i> (2017)	O modelo busca a digitalização de empresas de manufatura.	Cinco níveis de maturidade (inicial; gerenciado; definido; integrado e interoperável; e orientado para o digital) e quatro dimensões (processo; monitoramento e controle; tecnologia; e organização).
<i>Three Stages Maturity Model in SME's towards Industry 4.0</i>	Ganzarain; Errasti (2016)	O modelo descreve um caminho de desenvolvimento estratégico para a digitalização de PME.	Cinco estágios de maturidade (inicial; gerenciado; definido; transformar; modelo de negócios detalhado) e três dimensões (imaginar; habilitar; e promulgar).
<i>Industry 4.0-Maturity Model</i>	Gökalp <i>et al.</i> (2017)		Seis estágios (incompleto; executado; gerenciado; estabelecido; previsível; otimizando) e cinco dimensões (gerenciamento de ativos; governança de dados; gerenciamento de aplicativos; transformação de processos; e alinhamento organizacional).
<i>The IoT Technological Maturity Model</i>	Jæger; Halse (2017)	O modelo determina o nível atual de implementação de IoT para empresas de manufatura.	Oito estágios de maturidade (maturidade 3,0; maturidade inicial para 4,0; conectado; aprimorado; inovando; integrado; extenso; e maturidade 4,0). O modelo tem apenas uma dimensão.
<i>Supply Chain Systems Maturing towards the Internet of Things (IoT)</i>	Katsma <i>et al.</i> (2011)	O modelo concentra-se na implantação de tecnologia da informação e comunicação (TIC).	Quatro etapas que descrevem o desenvolvimento do <i>Enterprise Resource Planning</i> (ERP) para a IoT (ERP; ERP 2.0; SOA / SAAS; IoT). As etapas são aplicadas a quatro dimensões diferentes (negócios; aplicação; informação; e infraestrutura técnica).



MODELO DE MATURIDADE	FONTE	DESCRIÇÃO E ESCOPO	NÍVEIS E DIMENSÕES DE MATURIDADE
<i>Maturity Model for Digitalization</i>	Klötzer; Pflaum (2017)	Os autores distinguem entre dois facilitadores da transformação digital: realização de produto inteligente e aplicação de produto inteligente, o que leva a dois modelos de maturidade.	Cinco estágios (consciência da digitalização; produtos de rede inteligentes; a empresa orientada para serviços; pensando em sistemas de serviço; e a empresa orientada por dados); e nove dimensões com apenas pequenas diferenças (desenvolvimento de estratégia; oferta ao cliente; produto/fábrica "inteligente"; sistema de TI complementar; cooperação; organização estrutural; organização de processos; competências; e cultura de inovação).
<i>System Integration Maturity Model Industry 4.0 (SIMMI 4.0)</i>	Leyh et al. (2016)	O SIMMI 4.0 permite que as organizações avaliem os recursos de TI da I4.0.	Cinco estágios (nível de digitalização básico; digitalização interdepartamental; digitalização horizontal e vertical; digitalização completa; e digitalização completa otimizada) com quatro dimensões (integração vertical; integração horizontal; desenvolvimento de produto digital; e tecnologia transversal).
<i>Industry 4.0 Maturity Model</i>	Schumacher et al. (2016)	O modelo é projetado para empresas de manufatura.	Cinco estágios de maturidade. No entanto, os autores descrevem apenas o primeiro e o quinto nível (nível 1: ausência completa de atributos; nível 5: estado da arte dos atributos obrigatórios). Os estágios de maturidade são aplicados a nove dimensões (estratégia; liderança; clientes; produtos; operações; cultura; pessoas; governança; e tecnologia).
<i>Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)</i>	Weber et al. (2017)	M2DDM analisa a arquitetura de TI das empresas de manufatura para fornecer um caminho de desenvolvimento para a servitização. O modelo se concentra inteiramente em sistemas de TI.	Cinco estágios (integração de TI inexistente; integração de dados e sistema; integração de dados de ciclo de vida cruzado; orientação de serviço; e gêmeo digital até uma fábrica de auto-otimização). Tem apenas uma dimensão.



MODELO DE MATURIDADE	FONTE	DESCRIÇÃO E ESCOPO	NÍVEIS E DIMENSÕES DE MATURIDADE
<i>Maturity Levels for Cyber-Physical Systems</i>	Westermann <i>et al.</i> (2016)	O modelo é direcionado a organizações que tentam desenvolver recursos CPS.	Há duas camadas. A primeira camada fornece um modelo geral com cinco estágios (monitoramento; comunicação e análise; interpretação e serviços; adaptação e otimização; e cooperação) em uma única dimensão geral do CPS. O segundo nível é mais detalhado e fornece de quatro a cinco estágios de maturidade para componentes CPS únicos, que atuam como dimensões (atuantes, sensoriais, características do sinal, fonte do sinal); processamento de informações; sistema de comunicação (comunicação vertical, comunicação horizontal, conectividade, conexão de rede); interface homem-máquina (funcionalidade, adaptabilidade, localização); dados (armazenamento de dados, localização de armazenamento, uso de dados externos); serviços.
<i>Digital Capability Assessment (DCA)</i>	Accenture (2018)	A ferramenta analisa os recursos digitais necessários para competir nos mercados de hoje e de amanhã.	Cinco dimensões (estratégia e liderança; pessoas e cultura; produto e serviço; experiência do cliente; e capacitação empresarial).
<i>Digital Acceleration Index (DAI)</i>	Boston Consulting Group (2018)	DAI identifica oportunidades para acelerar a transformação digital.	Quatro estágios (digital passivo; alfabetizado digitalmente; <i>performer</i> digital; e líder digital). Os quatro blocos de construção (estratégia de negócios orientada por digital; digitalizar o núcleo; novo crescimento digital; habilitadores) com 37 blocos de construção (por exemplo, prioridades e alinhamento, cadeia de abastecimento digital, serviços compartilhados) cobrem toda a cadeia de valor, da estratégia às capacidades.
<i>Digital Maturity Model (DMM)</i>	Deloitte (2018)	DMM representa o primeiro modelo de maturidade digital interorganizacional.	Cinco dimensões de negócios principais (cliente; estratégia; tecnologia; operações; e organização e cultura) e 28 subdimensões (por exemplo, experiência do cliente, segurança) são usadas para avaliar a capacidade digital.



MODELO DE MATURIDADE	FONTE	DESCRIÇÃO E ESCOPO	NÍVEIS E DIMENSÕES DE MATURIDADE
<i>Digital Readiness Assessment</i>	Ernst & Young (2018)	O modelo verifica a estratégia da organização e fornece um plano de melhoria para uma organização totalmente digital.	Sete áreas de foco (estratégia, inovação e crescimento; experiência do cliente; cadeia de suprimentos e operações; tecnologia; risco e segurança cibernética; finanças, jurídico e tributário; e pessoas e organização). O modelo contém três estágios (desenvolvimento; estabelecido; e liderança).
<i>Big data & Analytics Maturity Model</i>	IBM (2018)	O modelo oferece suporte às organizações avaliando suas capacidades atuais para gerar valor a partir de grandes investimentos de dados em apoio a iniciativas de negócios estratégicos.	Cinco estágios (<i>ad hoc</i> ; básico; competitivo; diferenciador; e separatista) e seis dimensões (estratégia de negócios; informações; análise; cultura e execução; arquitetura; e governança).
<i>Smart Grid Maturity Model (SGMM)</i>	IBM (2009)		Cinco estágios (explorar e iniciar; investimento funcional; integração – multifuncional; otimização – em toda a empresa; inovar – próxima onda de melhorias), que são aplicados a oito domínios (estratégia, gestão e regulamentação; organização; tecnologia; social e ambiental; rede de operações; trabalho e gestão de ativos; gestão e experiência do cliente; e integração da cadeia de valor).
<i>Digital Readiness Assessment (DRA)</i>	KPMG (2016)	O DRA avalia as seções relevantes da organização a partir de duas perspectivas diferentes: intensidade de transformação e eficácia operacional.	Quatro dimensões (desenvolvimento e compra; produção; <i>marketing</i> ; e vendas) com quatro estágios (participação reativa; operador digital; transformação ambiciosa; e digitalização inteligente).
<i>Digital Capabilities (DC)</i>	McKinsey & Company (2018)	DC é uma ferramenta para avaliar as capacidades digitais para facilitar uma estratégia digital.	Seis dimensões (<i>insights</i> baseados em dados; experiência do cliente integrada; <i>marketing</i> digital; operações habilitadas digitalmente; tecnologia de última geração; e habilitadores digitais).
<i>Digital Quotient (DQ)</i>	McKinsey & Company (2018)	A DQ analisa os pontos fortes e fracos digitais nas unidades de negócios e prioriza aquelas com maior influência.	Quatro dimensões (estratégia; cultura; organização; e capacidades) com várias subdimensões (por exemplo, apetite de risco, conectividade).



MODELO DE MATURIDADE	FONTE	DESCRIÇÃO E ESCOPO	NÍVEIS E DIMENSÕES DE MATURIDADE
<i>Industry 4.0/Digital Operations Self Assessment</i>	PricewaterhouseCoopers (2018)	O modelo concentra-se nas capacidades industriais em toda a organização.	Seis dimensões (modelos de negócios; portfólio de produtos e serviços; acesso ao mercado e ao cliente; cadeias de valor e processos; arquitetura de TI; conformidade, legal, risco, segurança e impostos; e organização e cultura) com quatro estágios (I – iniciante digital; II – vertical integrador; III – colaborador horizontal; e IV – campeão digital).
<i>IMPULS – Industrie 4.0 Readiness (2015)</i>	Lichtblau et al. (2015)	Focado na indústria de manufatura e engenharia.	Cinco estágios com seis dimensões e 18 critérios. As etapas de desenvolvimento de cada estágio são claramente definidas. Os principais obstáculos e planos de ação são determinados para cada etapa.
<i>Industry 4.0/Digital Operations self-assessment (2016)</i>	PricewaterhouseCoopers (2016)	Modelo de maturidade em todo o setor.	Quatro estágios com sete dimensões. Critérios de maturidade indefinidos. Comentários e planos de ação curtos são fornecidos como resultado da avaliação on-line. Ampla área de aplicação.
<i>The connected enterprise maturity model (2016)</i>	Rockwell Automation (2016)	Focado na capacidade de TI das empresas.	Cinco estágios com cinco dimensões e foco em tecnologia. Critérios de maturidade indefinidos. Falta de ferramenta de avaliação. Falta de dimensão de organização e operação. Área de aplicação limitada.
<i>Complexity Management Maturity</i>	Kluth et al. (2014)	Baseia-se na estratégia de gestão da complexidade que pode “lidar com a complexidade”, “reduzir a complexidade”, “evitar a complexidade”, “complexidade do preço” e “gerar complexidade”.	Os níveis de maturidade preveem uma evolução que compreende os níveis entre 0 a 6, sendo (0) inicial, sem compreensão da complexidade; (1) definida: campos de complexidade são definidos; (2) qualitativa: a complexidade é avaliada qualitativamente; (3) quantitativa: quantitativa de indicadores-chave de desempenho (<i>key Success Indicator</i> – KPI, na sigla em inglês) são elaborados; (4) analisados: padrões de complexidade são gerados; (5) gerenciado: as medidas são definidas e inicializadas; e (6) harmonizado: complexidade interna e externa são harmonizadas.



MODELO DE MATUREZADE	FONTE	DESCRIÇÃO E ESCOPO	NÍVEIS E DIMENSÕES DE MATUREZADE
Smart Manufacturing System Readiness Assessment (SMSRA)	Mittal <i>et al.</i> (2018)	Os autores propõem uma estratégia de implementação com avaliação de prontidão, estrutura, <i>roadmap</i> e modelo de maturidade.	Avaliam o nível de maturidade das dimensões da organização, que se refere ao desenho de processos; tecnologia da informação; desempenho, que visa avaliar os instrumentos de monitoramento de indicadores e conectividade de informações. Os níveis podem ser iniciais (não existe), gerenciados (<i>roadmap</i> disponível), definidos (proposta de valor e recursos-chave definidos), transformados (estratégia dividida em tarefas) e modelo de negócios detalhado (o modelo de negócios é transformado).
C3M Maturity Model	Koehler, Woodtly, Hofstetter (2015)	Projetado para aplicação em "gerenciamento de casos" que define como uma situação complexa é gerenciada e como os serviços respondem às necessidades do cliente. A sigla C3M combina <i>case management</i> (CM) com três aspectos que o modelo visa a abordar: caracterização do modelo de maturidade, benefícios e riscos.	O modelo de maturidade envolve as dimensões Estratégia, Processos, Tecnologia, Organização e Pessoas. Considera que os níveis devem medir capacidades, benefícios e riscos e podem ser os seguintes: individualistas, apoiados, gerenciados, padronizados, transformadores.
Capability Maturity Model (CMM) e Capability Maturity Model Integration (CMMI)	Bonilla <i>et al.</i> (2018); Menon, Kärkkäinen, Lasrado (2016); Goksen; Cevik; Avunduk (2015); Huffman; Whitman (2015); Koehler; Woodtly; Hofstetter (2015); Ongena; Ravesteyn (2019); Szelagowski; Berniak-Wozny (2019)	O modelo considera a integração entre tecnologia e processos (CMMI) e converge com modelos e padrões de governança de tecnologia da informação, como objetivos de Controle da Informação e Tecnologias Relacionadas (Cobit), <i>Information Technology Infrastructure Library</i> (ITIL), <i>Project Management Institute</i> (PMI) e Organização Internacional de Padronização (ISO).	Prevê os seguintes níveis de maturidade: inicial, repetível, definido, gerenciado, otimizado.



MODELO DE MATUREZADE	FONTE	DESCRIÇÃO E ESCOPO	NÍVEIS E DIMENSÕES DE MATUREZADE
<p>IMPULS – Industrie 4.0 Readiness Model, por VDMA, Rheinisch– Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH) Aachen e IW Consult</p>	<p>Sony, Naik (2019) Mittal <i>et al.</i> (2018) Colli <i>et al.</i> (2018)</p>	<p>A estratégia organizacional direciona planos e ações para realização da indústria 4.0.</p>	<p>Seis dimensões: estratégia organizacional, fábrica inteligente, operação inteligente, produtos inteligentes, serviços baseados em dados e funcionários.</p>
<p>Manufacturing Value Modeling Methodology (MVM)/ Gartner Maturity Model</p>	<p>Tonelli <i>et al.</i> (2016)</p>	<p>Seu objetivo é desenvolver inicialmente um mapa de valor da empresa para identificar seu posicionamento nos seguintes itens: tendências de mercado; objetivos da empresa; práticas; e domínio de negócios. Em seguida, o <i>Gartner Maturity Model</i> é aplicado para medir o estado atual da empresa no projeto de reposicionamento.</p>	<p>Esse modelo prevê as seguintes etapas: etapa 1, foco nas atividades operacionais e nível de distribuição; etapa 2, antecipação dos objetivos do plano de abastecimento; etapa 3, integração do plano de abastecimento para antecipar demandas por meio de respostas orientadas a serviços; etapa 4, excelência no plano de abastecimento; e estágio 5, orquestração nas fronteiras entre demanda e oferta.</p>
<p>A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)</p>	<p>Weber <i>et al.</i> (2017)</p>	<p>Tem como objetivo avaliar a integração entre a tecnologia da informação e a engenharia de automação, com as diferentes etapas da cadeia de valor e com as demais infraestruturas necessárias à obra.</p>	<p>Considera os seguintes níveis: (0) integração de TI inexistente; (1) integração de dados e sistemas; (2) integração de dados de ciclo de vida cruzado; (3) orientação para o serviço; (4) digital <i>twin</i>; e (5) fábrica de auto-otimização.</p>
<p>System Integration Maturity Model Industry 4.0 (SIMMI 4.0)</p>	<p>Sony, Naik (2019) Colli <i>et al.</i> (2018) Leyh <i>et al.</i> (2016)</p>	<p>Tem como foco a avaliação da infraestrutura tecnológica exigida pelo modelo indústria 4.0.</p>	<p>Fornecer as etapas (1) digitalização básica; (2) digitalização entre departamentos; (3) digitalização horizontal e vertical; (4) digitalização completa; e (5) digitalização total otimizada. Todas essas etapas avaliam as seguintes dimensões: (1) integração vertical; (2) integração horizontal; (3) desenvolvimento de produto digital; e (4) critérios de tecnologia transversal.</p>



MODELO DE MATURIDADE	FONTE	DESCRIÇÃO E ESCOPO	NÍVEIS E DIMENSÕES DE MATURIDADE
<i>ManuTech Maturity Model (MTMM)</i>	Gracel; Iębkowski (2018)	Tem como foco a avaliação das áreas funcionais do nível operacional das organizações. Também dá atenção especial às demandas das empresas do setor manufatureiro.	As dimensões avaliadas são: tecnologias centrais; pessoas e cultura; gestão do conhecimento; integração em tempo real; infraestrutura; conscientização estratégica e alinhamento; excelência de processo; e segurança cibernética.
<i>Industrie 4.0 Maturity Index, Acatech</i>	Colli et al. (2018)	A informatização refere-se ao nível em que as ferramentas tecnológicas são utilizadas separadamente, na conectividade, os componentes estão conectados e representam os processos organizacionais, em visibilidade, há amplo uso de sensoriamento que permite a coleta de dados do início ao fim dos processos; em nível de transparência, é possível obter uma sombra digital que representa a situação da organização, em capacidade preditiva, capacidade de simulação de cenários e, no estágio de adaptabilidade, a organização tem capacidade de adaptação contínua.	Seis estágios (informatização; conectividade; visibilidade, transparência; capacidade preditiva; e adaptabilidade). Esses níveis são aplicados nas dimensões de Recursos, Sistemas de Informação, Estrutura Organizacional e Cultura.
<i>Information and Communication Technology (ICT) Maturity</i>	Yunis et al. (2012)	Tem como objetivo avaliar a maturidade em relação à adoção de tecnologia da informação.	Basicamente, considera dois fatores, competências em novas tecnologias e segurança da informação.
<i>Master Data Management Maturity Model (MD3M)</i>	Spruit, Pietzka (2015)	Modelo de maturidade para avaliar um aspecto muito específico das empresas que aderiram ao modelo da indústria 4.0, que é a capacidade de processamento de dados. Baseia-se em outros modelos de gestão de TI da mesma natureza, como <i>Cobit</i> , <i>Oracle</i> , <i>Information Management Network (IMN)</i> e <i>Dataflux</i> .	Avalia a preparação das organizações de acordo com os seguintes níveis: inicial; repetível; processo definido; gerenciado e mensurável; e otimizado. Considera os seguintes recursos: modelo de dados; qualidade de dados; uso e propriedade; proteção de dados; e manutenção.

Fonte: Yagiz Akdil; Ustundag; Cevikcan (2018); Felch; Asdecker; Sucky (2019); De Jesus; Lima (2020).



Perfil

Insira seu nome aqui!
[Alterar Senha](#)

Empresa

4/150

Telefone

|

0/15

A sua posição possibilita dizer que as respostas representam a visão da empresa sobre o tema da indústria 4.0?

Sim Não

Você tem uma posição de nível decisório/estratégico para o tema da indústria 4.0?

Sim Não

Qual o setor da sua empresa?

Setor de atividade
Agricultura ▼

Porte da sua Empresa (de acordo com a receita bruta anual)

Porte da Empresa
Micro Empreendedor In ... ▼

Figura A1 – Questionário da Câmara da Indústria 4.0



Susceptibilidade à transformação digital

1. Como sua empresa está em relação à Indústria 4.0? (Escolha uma opção)

- Totalmente engajados com investimentos concretos em tecnologias 4.0
- Com desenvolvimento de algum(s) projeto(s)-piloto(s) de implantação de tecnologias 4.0
- Atualizados sobre os conceitos da Indústria 4.0
- Sem conhecimentos sobre os conceitos da Indústria 4.0

2. Qual é a realidade hoje no uso de tecnologias 4.0 na sua empresa?¹ (Pode marcar mais de uma opção)

- Os sistemas de TI são usados para tornar alguns processos repetitivos mais eficientes.
- Os sistemas de TI utilizados estão interligados e refletem os principais processos de negócios da empresa.
- É feito o uso de sensores e bancos de dados permitindo que um grande número de pontos de dados seja registrado e disponibilizado para uso em tempo real.
- Uso de ferramenta bem estabelecida para a interpretação das relações causa-efeito e a análise integrada de indicadores em diferentes níveis de processo. Exemplo: *Big data*.
- Uso de ferramentas que permitam o que o conhecimento sobre as relações causa-efeito seja estendido para o futuro. Possíveis cenários podem ser avaliados considerando a sua probabilidade de ocorrência.
- Decisões são tomadas pelos sistemas de TI, ou seja, variáveis são otimizadas automaticamente e podem ser controladas. Exemplo: *machine learning*.

¹ Avaliação de Sistemas de Produção – VDI

3. Há tecnologias de que você já ouviu falar e que pensa que poderão ter utilidade para a sua empresa?

- Sim
- Não

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



3.1. Se respondeu sim na questão anterior, marque as tecnologias que pensa que poderão ter utilidade para a sua empresa.

- Inteligência Artificial (AI)
- Big Data*
- Internet das Coisas (IoT)
- Computação em Nuvem
- Sistemas Ciberfísicos (CPS)
- Manufatura Aditiva (impressão 3D)
- Robótica avançada
- Realidade virtual e aumentada
- Sensores inteligentes
- Novos materiais
- Blockchain*
- Outra. Qual? _____
- Nenhuma

4. Por que considera essas tecnologias úteis para a sua empresa? Destaca alguma em particular?

5. Na sua opinião, você vê dificuldades para se utilizar dessas novas tecnologias?

- Sim Não Não sei ou não quero opinar





5.1. Se respondeu sim, quais foram as dificuldades?

- Falta de conhecimento
- Alto investimento
- Internet ineficiente
- Infraestrutura tecnológica ineficiente/insuficiente
- Insegurança no armazenamento de dados (segurança da informação)
- Falta de padronização
- Falta de mão de obra qualificada
- Outra, mencione: _____

Principais áreas e temas que devem ser focos de normalização

A normalização é uma das ferramentas reconhecidas como importantes para viabilizar a utilização das tecnologias nas empresas para a Indústria 4.0.

A participação na normalização, inclusive no nível internacional, implica em investimento de recursos, principalmente recursos humanos (dedicação de tempo de especialistas para acompanhar e participar dos trabalhos).

É importante notar que, atualmente, grande parte das participações nas atividades de normalização internacional é basicamente realizada mediante participação remota em reuniões, reduzindo substancialmente ou mesmo eliminando as despesas com viagens internacionais.

O Brasil, como os demais países, necessita desenvolver as normas técnicas necessárias para suportar a implementação da Indústria 4.0. Para tal, é necessário estabelecer prioridades, que devem refletir as prioridades das empresas e organizações.

A seguir são feitas algumas perguntas para apoiar a definição das prioridades de normalização para a Indústria 4.0 para o Brasil. Esta definição é um dos resultados esperados da iniciativa da Câmara Brasileira da Indústria 4.0, que está construindo o *Roadmap* da Normalização para a Iniciativa Brasileira para a Indústria 4.0.

Outro ponto importante é que o objeto deste trabalho são as Normas Técnicas desenvolvidas nos organismos de normalização – ISO, IEC, ITU-T, ABNT e ANATEL e não abrange os chamados “padrões” utilizados com frequência no setor das tecnologias da informação e comunicação.

As perguntas referem-se à sua percepção dos temas e assuntos que considera mais prioritários (importantes, urgentes, determinantes, etc.) e também sobre a disposição da sua empresa em participar da normalização desses temas.





6. Há tecnologias que considera ser importante contar com normas técnicas para apoiar a adoção pela sua empresa.?

- Sim Não Não sei ou não quero opinar

6.1. Se respondeu sim na questão anterior, marque as tecnologias que considera importante contar com normas técnicas para apoiar a adoção pela sua empresa.

- Inteligência Artificial (AI)
- Big Data*
- Internet das Coisas (IoT)
- Computação em Nuvem
- Sistemas Ciberfísicos (CPS)
- Manufatura Aditiva (impressão 3D)
- Robótica avançada
- Realidade virtual e aumentada
- Sensores inteligentes
- Novos materiais
- Blockchain*
- Outra. Qual? _____

7. Priorização e disposição para participar

Apresentam-se a seguir os órgãos técnicos de normalização internacionais e nacionais relacionados com as tecnologias mencionadas.

No primeiro bloco, marque o grau de prioridade para o Brasil participar dos trabalhos de normalização. Leve em consideração a importância e o interesse nacional, mesmo que não considere a possibilidade da participação da sua empresa nesses trabalhos. Não marque nada nos comitês que não sabe se são prioritários ou não quer opinar. Os itens estão numerados de 1 a 5 onde 1 prioritário, 2 importante, 3 pertinente, mas não prioritário e 4 não pertinente.

Na última coluna, marque os comitês nos quais há disposição da sua empresa em participar ativamente.





Órgãos técnicos (Comitês Técnicos e outros grupos técnicos)	Prioridade para participação brasileira	Participação
Arquiteturas de referência, Modelos de referência • IEC/TC65/WG23 Smart Manufacturing Framework and System Architecture	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• Joint ISO/184 - IEC/TC 65/JWG 21 Smart Manufacturing Reference Model(s)	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/IEC/JTC1/AG8 Meta Reference Architecture and Reference Architecture for Systems Integration	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
Shell de administração • IEC/TC65/WG24 Asset Administration Shell for Industrial Applications	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
Integração de diferentes sistemas e seus componentes e interoperabilidade • ISO/TC184 Automation systems and integration	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/TC184/SC 5 Interoperability, integration, and architectures for enterprise	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/IEC/JTC1/AG14 Systems Integration Facilitation (SIF)	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• IEC/TC65/SC65A Systems Aspects	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• IEC/TC65/SC65C Industrial Networks	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• IEC/TC65/SC65B Measurement and control devices	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• IEC/TC65/SC65E Devices and integration in Enterprise systems	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2



• IEC/TC 65/WG16 Digital Factory	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• IEC/TC 91 Electronics assembly technology	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
Ciclo de vida • IEC/TC65/WG19 Life-cycle management for systems and products used in industrial-process measurement, control and automation	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
Manufatura aditiva • ISO/TC261 Additive manufacturing	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ABNT/CEE-261 Comissão de Estudo Especial de Manufatura Aditiva	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
Robótica avançada • ISO/TC299 Robotics	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ABNT/CEE-199 – Comissão de Estudo Especial de Sistemas Integrados para Robôs Industriais	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2

Priorização e disposição para participar (continuação)

Apresentam-se a seguir os órgãos técnicos de normalização internacionais e nacionais relacionados com as tecnologias mencionadas.

No primeiro bloco, marque o grau de prioridade para o Brasil participar dos trabalhos de normalização. Leve em consideração a importância e o interesse nacional, mesmo que não considere a possibilidade da participação da sua empresa nesses trabalhos. Não marque nada nos comitês que não sabe se são prioritários ou não quer opinar. Os itens estão numerados de 1 a 5 onde 1 prioritário, 2 importante, 3 pertinente, mas não prioritário e 4 não pertinente.

Na última coluna, marque os comitês nos quais há disposição da sua empresa em participar ativamente.





Órgãos técnicos (Comitês Técnicos e outros grupos técnicos)	Prioridade para participação brasileira	Participação
Dados, segurança da informação, segurança de operação, etc. • ISO/TC184 Automation systems and integration	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• IEC/TC65/WG10 - Security for industrial process measurement and control – Network and system security	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• IEC/TC65/WG20 Industrial-process measurement, control and automation-Framework to bridge the requirements for safety and security	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/IEC/JTC1/SC27 Information security, cybersecurity and privacy protection	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/IEC/JTC1/SC27/WG3 Security evaluation, testing and specification	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/IEC/JTC1/SC27/WG4 Security controls and services	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/TC108/SC5 Condition monitoring and diagnostics of machine systems	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/TC184/SC4 Industrial data	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/IEC/JTC1/SC31 Automatic identification and data capture techniques	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/TC199 Safety of machinery	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ISO/TC159/SC4 Ergonomics of humansystem interaction	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
• ITU-T/T-SG 17 - Security E series: Overall network operation, telephone service, service operation and human factors	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2



• ITU-T/T-SG 17 - F series: Nontelephone telecommunication services	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ITU-T/SG 17 - X series: Data networks, open system communications and security	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ITU-T/T-SG 17 - Z series: Languages and general software aspects for telecommunication systems	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
Blockchain						
• ISO/TC307 - Blockchain and distributed ledger technologies	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ABNT/CEE-307 – Blockchain e Tecnologias de Registro Distribuídas	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
Realidade aumentada e virtual						
• ISO/IEC/JTC 1/SC 24 – Computer graphics, image processing and environmental data representation	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2

Priorização e disposição para participar (continuação)

Apresentam-se a seguir os órgãos técnicos de normalização internacionais e nacionais relacionados com as tecnologias mencionadas.

No primeiro bloco, marque o grau de prioridade para o Brasil participar dos trabalhos de normalização. Leve em consideração a importância e o interesse nacional, mesmo que não considere a possibilidade da participação da sua empresa nesses trabalhos. Não marque nada nos comitês que não sabe se são prioritários ou não quer opinar. Os itens estão numerados de 1 a 5 onde 1 prioritário, 2 importante, 3 pertinente, mas não prioritário e 4 não pertinente.

Na última coluna, marque os comitês nos quais há disposição da sua empresa em participar ativamente.

Órgãos técnicos (Comitês Técnicos e outros grupos técnicos)	Prioridade para participação brasileira				Participação	
Gestão das organizações						
• ISO/TC292 Security and resilience	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ISO/IEC/JTC1/AG Trustworthiness	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2





• ISO/TC323 Circular Economy	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ABNT/CEE-323 – Comissão de Estudo Especial de Economia Circular	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
Sensores inteligentes • ISO/IEC/JTC1/WG7 – Sensor Networks	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• IEC SMB ahG 56 – Wearable Smart	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
Inteligência Artificial • ISO/IEC/JTC1 Information Technology	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ISO/IEC/JTC1/SC42 – Artificial intelligence	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ISO/TC215 Health informatics	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ISO/TC299 Safety of machinery	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• IEC/SEG 10 Ethics in Autonomous and Artificial Intelligence Applications	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• IEC/TC91 Electronics assembly technology	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
• ITU-T/FG-5GML Machine Learning for Future Networks including 5G (Focus Group)	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2

8. Indique outros órgãos técnicos que sejam relevantes para a participação brasileira.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Temperatura de como a normalização é usada nas empresas

9. Sua empresa costuma participar do processo de normalização, enviando representantes a reuniões da ABNT?

- Sim Não

10. Em sua opinião, qual a principal dificuldade para a participação no processo de normalização?

- Ter conhecimento das reuniões.
- Disponibilizar profissional para participar das reuniões.
- Custo para enviar profissional para as reuniões (considerando reuniões presenciais).
- Conhecimento da língua inglesa, no caso da normalização internacional.
- Vejo poucos benefícios na participação.
- Outros, comente: _____

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz tecnológica	16
Figura 2 – Elementos de identificação dos setores prioritários	20
Figura 3 – Radar de inovação	21
Figura 4 – Indicadores de análise aplicados para o caso do Ecossistema de Ponta Grossa/PR	22
Figura 5 – Estágio de maturidade da vertente de Talentos para o Ecossistema de Ponta Grossa/PR	23
Figura 6 – Plano de ação para o setor de TIC no Ecossistema de Ponta Grossa/PR	24
Figura 7 – Rede de similaridade semântica de artigos relacionados a modelos de maturidade para a indústria 4.0	34
Figura 8 – Exemplo de questão do Modelo Senai	44
Figura 9 – Níveis de maturidade do Modelo de Maturidade do Senai	47
Figura 10 – Perfil dos respondentes com base nas questões mencionadas	53
Figura 11 – Relacionamento com a indústria 4.0	53
Figura 12 – Realidade do uso das tecnologias	54
Figura 13 – Percepção sobre tecnologias mais úteis	55
Figura 14 – Dificuldades de uso das tecnologias	56
Figura 15 – Pares de tipo de dificuldade selecionados	57
Figura A1 – Questionário da Câmara da Indústria 4.0	83



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Campos do Formulário da Matriz Tecnológica	13
Tabela 2 – Bases de conhecimento da matriz tecnológica	14
Tabela 3 – Exemplos de instrumentos de inovação voltados às micro e pequenas empresas (MPE)	27
Tabela 4 – Quadro-resumo: análise dos novos segmentos ou nichos com maior potencial ao desenvolvimento tecnológico e inovação, por meio de três metodologias	29
Tabela 5 – Parâmetros para desenvolvimento de modelos	35
Tabela 6 – Indústria 4.0 em pequenas e médias empresas (PME)	37
Tabela 7 – Construção das dimensões a partir de tecnologias e conceitos	40
Tabela 8 – Construção de dimensões a partir da interação de aspectos complementares	42
Tabela 9 – Exemplo de questão utilizada para a avaliação da subdimensão de <i>Processos de Smart Business e Produção, Logística e Compras</i>	43
Tabela 10 – Exemplo de questão utilizando escala Likert	44
Tabela 11 – Exemplo de pesos utilizada por Kaltenbach (2018)	45
Tabela 12 – Exemplos de faixas de pontuação para definição de nível de maturidade	45
Tabela 13 – Exemplo de descrição dos requerimentos associados aos níveis de maturidade	48



SIGLAS E ABREVIATURAS ENCONTRADAS NESTA PUBLICAÇÃO

- Abimaq-Sul** | Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
- Abinc** | Associação Brasileira de Internet das Coisas
- BNDES** | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- Câmara I4.0** | Câmara Brasileira da Indústria 4.0
- Ceal** | Clube de Engenharia e Arquitetura de Londrina
- Certi** | Fundação do Centro de Referência em Tecnologias Inovadoras
- CGEE** | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
- CM** | *Case management*
- CMM** | *Capability Maturity Model*
- CMMI** | *Capability Maturity Model Integration*
- Cobit** | Controle da Informação e Tecnologias Relacionadas
- CT&I** | Ciência, Tecnologia e Inovação
- DAI** | *Digital Acceleration Index*
- DC** | *Digital Capabilities*
- DCA** | *Digital Capability Assessment*
- DMM** | *Digital Maturity Model*
- DQ** | *Digital Quotient*
- DRA** | *Digital Readiness Assessment*
- DREAMY** | *Digital Readiness Assessment Maturity Model*
- ERP** | *Enterprise Resource Planning*
- ICT** | *Information and Communication Technology*
- ICTI** | Instituição de Ciência, Tecnologia e Inovação
- IMN** | *Information Management Network*
- IoT** | *Internet of Things*
- ISO** | Organização Internacional de Padronização
- ITIL** | Information Technology Infrastructure Library
- KPI** | Indicadores-chave de desempenho (na sigla em inglês *key success indicator*)
- M2DDM** | *Maturity Model for Data-Driven Manufacturing*
- MD3M** | *Master Data Management Maturity Model*
- MM** | *Maturity Model*
- MPE** | Micro e Pequenas Empresas
- MTMM** | *ManuTech Maturity Model*
- MVMM** | *Manufacturing Value Modeling Methodology*
- PGEPR/UFABC** | Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do ABC
- PME** | Pequenas e Médias Empresas
- PMI** | Project Management Institute
- RIS3** | Estratégia de Pesquisa e Inovação Nacional/Regional para a Especialização Inteligente (*National/Regional Research and Innovation Strategies for Smart Specialisation*, na sigla em inglês)



RM | *Readiness Model*

RWTH | *Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen*

Senai | Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SGMM | *Smart Grid Maturity Model*

SIMMI 4.0 | *Maturity Model Industry 4.0*

SIMMI 4.0 | *System Integration Maturity Model Industry 4.0*

SMSRA | *Smart Manufacturing System Readiness Assessment*

TIC | Informação e Comunicação

UE | União Europeia

Documentos técnicos publicados pelo CGEE:

- 01 - 10 – Avaliação do programa de apoio à implantação e modernização de centros vocacionais tecnológicos (CVT)
- 02 - 10 – Energia solar fotovoltaica no Brasil
- 03 - 10 – Modelos institucionais das organizações de pesquisa
- 04 - 10 – Rede de inovação tecnológica para o setor madeireiro da Amazônia Legal
- 05 - 10 – Quadro de atores selecionados no Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação: Universidades brasileiras
- 06 - 10 – Quadro de atores selecionados no Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação: Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação
- 07 - 10 – Hidrogênio energético no Brasil: Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025
- 08 - 10 – Biocombustíveis aeronáuticos: Progressos e desafios
- 09 - 10 – Siderurgia no Brasil 2010-2025
- 10 - 11 – Inovações Tecnológicas em Cadeias Produtivas Selecionadas: Oportunidades de negócios para o município de Recife (PE)
- 11 - 11 – Avaliação do impacto da Olimpíada Brasileira de Matemática nas Escolas Públicas (OBMEP)
- 12 - 11 – Eletrônica Orgânica: contexto e proposta de ação para o Brasil
- 13 - 12 – Análises e percepções para o desenvolvimento de uma política de CT&I no fomento da energia eólica no Brasil
- 14 - 12 – Roadmap tecnológico para produção, uso limpo e eficiente do carvão mineral nacional: 2012 a 2035
- 15 - 12 – Inovações tecnológicas em cadeias produtivas selecionadas - Oportunidade de negócios para o município de Recife (PE): saúde, logística, petróleo e gás
- 16 - 12 – Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional
- 17 - 13 – Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento da Amazônia Legal
- 18 - 13 – Eficiência Energética: recomendações de ações de CT&I em segmentos da indústria selecionados – Edificações Eficientes
- 19 - 13 – Desafios ao desenvolvimento brasileiro: uma abordagem social-desenvolvimentista
- 20 - 13 – Eficiência Energética: recomendações de ações de CT&I em segmentos da indústria selecionados – Celulose e Papel
- 21 - 14 – Programa demonstrativo para inovação em cadeia produtiva selecionada – Indústria aeronáutica brasileira
- 22 - 14 – Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável do Nordeste Brasileiro
- 23 - 21 – Desenvolvimento Tecnológico e Mercado de Trabalho – Digitalização e relação homem-máquina: mudanças e tendências na legislação em nível global
- 24 - 21 – Desenvolvimento Tecnológico e Mercado de Trabalho – Subsídios para políticas públicas
- 25 - 21 – Desenvolvimento Tecnológico e Mercado de Trabalho – Estudo sobre relações de trabalho no setor financeiro
- 26 - 21 – Desenvolvimento Tecnológico e Mercado e Trabalho - Emprego e relações de trabalho no complexo econômico-industrial da saúde
- 27 - 21 – Desenvolvimento Tecnológico e Mercado e Trabalho - Impactos da expansão do e-commerce no nível de emprego, na estrutura da ocupação e na negociação coletiva
- 28 - 21 – Indústria 4.0 – Recursos humanos e educação para o mundo 4.0
- 29 - 21 – Indústria 4.0 – Arcabouço normativo para a implementação da Indústria 4.0 no Brasil
- 30 - 21 – Indústria 4.0 – Percepção das empresas sobre a normalização técnica para a Indústria 4.0 no Brasil
- 31 - 22 – Indústria 4.0 – Segmentos ou nichos com maior potencial para o desenvolvimento tecnológico nacional
- 32 - 22 – Indústria 4.0 – Mapeamento das principais metodologias de aproximação entre o setor produtivo e tecnologias 4.0

