

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

GABRIEL BISKER LIBERMAN

**Proposta de um método para avaliar o índice de maturidade Indústria 4.0 de uma
empresa**

São Paulo
2021

GABRIEL BISKER LIBERMAN

Proposta de um método para avaliar o índice de maturidade Indústria 4.0 de uma empresa

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Diploma de Engenheiro de Produção.

Orientador: Professor Dr. Daniel Mota

São Paulo
2021

Dedico esse trabalho à minha namorada Michelle, por estar sempre ao meu lado, por sempre acreditar em mim e por me encorajar a ser uma pessoa melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Daniel Mota, que me orientou com alegria, experiência e me motivou a buscar conhecimento.

Agradeço ao Paulo Roberto, fundador da Zorfatec, pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos.

Agradeço ao Pedro Schuetze por me ajudar a desenvolver o *site*.

Agradeço a todos que se dispuseram a ajudar no meu projeto, me dando conselhos, informações e sendo fonte de muitos *insights* e inspiração.

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional.

“O impossível reside nas mãos inertes daqueles
que não tentam.” - Epicuro

RESUMO

O mundo hoje vivencia o que é chamado de Indústria 4.0, a Quarta Revolução Industrial. Esse modelo de produção permite com que as empresas tenham uma maior adaptabilidade e habilita um processo de tomada de decisão acelerado, principalmente em um mundo em que as mudanças acontecem muito rapidamente. Nesse contexto, as empresas precisam conseguir avaliar como estão posicionadas frente a esse novo paradigma de produção. O presente trabalho propõe um questionário, baseado no modelo de maturidade da Academia Alemã de Ciências e Engenharia, que, após avaliação, pode dizer qual é o nível de maturidade da empresa analisada. Esse resultado pode servir de base para que a empresa realize um planejamento para melhorar o seu nível de maturidade, resultando em uma maior vantagem competitiva e uma maior probabilidade de sobrevivência no longo prazo. Alguns dos passos identificados para se realizar o objetivo proposto são conhecer o que é a Indústria 4.0 e a sua história, bem como, expor o modelo de maturidade a ser seguido; aplicar o questionário em diferentes empresas; discutir sobre o processo de aplicação do questionário; e analisar a maturidade Indústria 4.0 das empresas pesquisadas. Para tanto, foram utilizadas a coleta de dados na literatura acadêmica e a realização de entrevistas para fundamentar o trabalho. Para a realização da pesquisa com as empresas, os dados foram coletados através de questionário elaborado pelo autor. Os resultados alcançados foram a proposta de um método concreto para avaliar a maturidade Indústria 4.0 das empresas. Além disso, foi possível fazer um estudo de caso com 13 empresas, descrevendo a maturidade delas de acordo com o método proposto. A importância desse estudo é dar uma ferramenta para as empresas de forma com que elas consigam entender as suas competências e fraquezas frente ao paradigma de produção da Indústria 4.0. Dessa forma, elas podem elaborar um plano de ação para melhorar o seu nível de maturidade e, então, galgar melhores resultados e estarem mais aptas a sobreviver no longo prazo. O destaque da pesquisa é a discussão sobre o processo de avaliação, bem como a caracterização da maturidade das empresas avaliadas, que ainda têm muito a se desenvolver em relação ao potencial máximo e pleno da Indústria 4.0. As maiores limitações da pesquisa foram o número baixo de empresas avaliadas, bem como a escolha de um único método de avaliação da literatura para ancorar o questionário. A pesquisa apresentou alguns desafios, como a dificuldade de se definir com total clareza o que é a Indústria 4.0, bem como se aventurar em um tema que ainda está no seu desenvolvimento inicial. Enfim, através do estudo realizado e das observações pontuadas, pôde-se constatar que foi possível a criação de um questionário para avaliar a maturidade Indústria 4.0 das empresas.

Palavras-chave: indústria 4.0; maturidade indústria 4.0

ABSTRACT

The world is going through what is called Industry 4.0, which is the Fourth Industrial Revolution. This production model enables companies to have higher adaptability and also a faster decision-making process. These factors are in need in a world where change is the norm. In this context, companies have to be able to evaluate in which maturity stage they are. This work proposes a questionnaire, based on the German Academy of Science and Engineering maturity index, that can describe the company's maturity index. This result can be the basis of a plan to better the company's maturity level. This enables the enterprise to compete better. Some steps that needed to be taken in this process were to know what Industry 4.0 is about. Also, there was a need to define in clear terms what the Industry 4.0 maturity industry index is. Another step that needed to be taken was to apply the questionnaire to different companies, discuss the process of acquiring data through the questionnaire, and also analyze the maturity of selected companies. To achieve these goals, data was collected in the academic literature, interviews, and with the questionnaire. The results were the proposal of a concrete method to evaluate the Industry 4.0 maturity of companies. It was possible to perform a case study with 13 companies describing their maturity level. The importance of this work is to provide companies with a tool they can use to compete better. The highlights of the research it's the discussion about the evaluation process, as well as the description of the maturity levels of the evaluated companies. The biggest limitations were the low number of analyzed companies and the decision to use a specific maturity index, which is not the only one available. There were several challenges during the making of this work, including the difficulty in defining what exactly is Industry 4.0 and also to venture into a theme that is still in its initial development stage. Through this study, it was possible to create a questionnaire to evaluate the Industry 4.0 maturity of companies.

Keywords: industry 4.0; industry 4.0 maturity

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Projeções de Mercado para a Indústria 4.0 de 2021 até 2026	24
Figura 2 – Estágios de Maturidade da Indústria 4.0	31
Figura 3 – Modelo de Avaliação do Índice de Maturidade Indústria 4.0 da ACATECH	33
Figura 4 – Detalhe da apresentação de PowerPoint situando o respondente sobre qual etapa do questionário ele estava respondendo	43
Figura 5 – Página inicial do <i>site</i>	52
Figura 6 – Tela de cadastro do <i>site</i>	53
Figura 7 – Tela de orientações para preenchimento do questionário	54
Figura 8 – Informações pedidas ao usuário no início do preenchimento do questionário	55
Figura 9 – Tela inicial do questionário para o preenchimento das respostas	56
Figura 10 – Escala Likert utilizada no questionário	56
Figura 11 – Avaliação de Maturidade: Empresa A - Inteligência Aplicada	59
Figura 12 – Avaliação de Maturidade: Empresa A - Consultoria	60
Figura 13 – Avaliação de Maturidade: Empresa B - Logística	60
Figura 14 – Avaliação de Maturidade: Empresa C - Empresa Toda	61
Figura 15 – Avaliação de Maturidade: Empresa D - Tecnologia	61
Figura 16 – Avaliação de Maturidade: Empresa E - Vendas	62
Figura 17 – Avaliação de Maturidade: Empresa F - Rede Afiliada	62
Figura 18 – Avaliação de Maturidade: Empresa G - Operação e Solutions (Pré-Vendas)	63
Figura 19 – Avaliação de Maturidade: Empresa H - Empresa Toda	63
Figura 20 – Avaliação de Maturidade: Empresa I - Investimentos	64
Figura 21 – Avaliação de Maturidade: Empresa J - Serviços	64
Figura 22 – Avaliação de Maturidade: Empresa K - Produção	65
Figura 23 – Avaliação de Maturidade: Empresa L - Infraestrutura de Redes	65
Figura 24 – Avaliação de Maturidade: Empresa M - Vendas	66
Figura 25 – Resumo das principais características da Indústria 4.0 frente à área estrutural de Recursos	83
Figura 26 – Resumo das principais características da Indústria 4.0 frente à área estrutural de Sistemas de Informação	86
Figura 27 – Resumo das principais características da Indústria 4.0 frente à área estrutural de Estrutura Organizacional	90
Figura 28 – Resumo das principais características da Indústria 4.0 frente à área estrutural de Cultura	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidades de empresas pesquisadas por setor	57
Gráfico 2 – Número de funcionários por empresa pesquisada	58
Gráfico 3 – Quantidade de empresas por faixa de receita	58
Gráfico 4 – Frequência dos níveis de maturidade	67
Gráfico 5 – Nível de maturidade por empresa	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Regras para classificação de porte de empresa de acordo com área de atuação e número de colaboradores	34
Tabela 2 – Comparação das características das PME e das EMN	36
Tabela 3 – Quantidade de perguntas por critério avaliado no questionário	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três Dimensões
ACATECH	Academia Alemã de Ciências e Engenharia
BDA	Big Data Analytics
CPS	Cyber-Physical Systems
EMN	Empresa Multinacional
EPP	Empresa de Pequeno Porte
FEM	Fórum Econômico Mundial
IA	Inteligência Artificial
IEC	International Engineering Consortium (Comissão Internacional de Eletrotécnica)
ITU	União Internacional de Telecomunicações
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
ME	Microempresa
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MVP	Minimum Viable Product
N/A	Não se Aplica
PME	Pequena e Média Empresa
RFID	Radio-Frequency IDentification (identificador por radiofrequência)
TI	Tecnologia da Informação
USP	Universidade De São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Justificativa	21
1.2	Objetivo Geral	22
1.3	Objetivos Específicos	22
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	Indústria 4.0	23
2.1.1	Indústria 4.0 como Diferencial Competitivo	25
2.1.2	<i>Internet</i> das Coisas	25
2.1.3	Inteligência Artificial	26
2.1.4	<i>Big Data</i>	27
2.2	Modelos de Maturidade	27
2.3	Escala Likert	29
2.4	Modelo de Maturidade da Indústria 4.0 da ACATECH	30
2.5	Regras de Classificação do Tamanho de uma Empresa	34
2.6	Desafios na Elaboração de Modelos de Maturidade para Pequenas e Médias Empresas	35
3	METODOLOGIA	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Estudo de Caso	47
4.2	Métodos Não Estruturados	48
4.3	Análise de Resultados	50
5	DISCUSSÃO	71
6	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICES	81
	APÊNDICE A – ELEMENTOS MAIS IMPORTANTES PARA AVALIAÇÃO DE ACORDO COM O ESTUDO DA ACATECH	83
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA A AVALIAÇÃO DAS EMPRESAS	97

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 é um novo paradigma de produção. Alavancando-se no que há de mais moderno em tecnologia, essa nova maneira de produzir permite com que empresas respondam cada vez mais rapidamente e decisivamente às mudanças e variações de mercado. Pelo seu grande potencial, esse é um tema que atrai cada vez mais olhares, no entanto, há muita confusão ainda sobre o tema e como ele ajudará as empresas a se desenvolverem.

De forma geral, o estado de desenvolvimento da Indústria 4.0 no mundo ainda é inicial. Muitas empresas ainda não têm o conhecimento e nem tecnologia para implementar as recomendações da Indústria 4.0. Nesse contexto, a pesquisa foca no método de avaliação das capacidades atuais das empresas frente aos conceitos da Indústria 4.0.

Diante do que foi exposto, surge a necessidade de traduzir as complexidades da Indústria 4.0 em uma linguagem que pode ser entendida pelas empresas. Nesse contexto, há a necessidade de se elaborar formas de avaliar a maturidade Indústria 4.0 das empresas para que possam focar no que realmente importa para se chegar no próximo estágio.

Portanto, buscou-se coletar e analisar dados com a finalidade de endereçar o seguinte problema de pesquisa: Como avaliar a maturidade de uma empresa em relação à Indústria 4.0?

Essa pesquisa foca em traduzir o modelo de avaliação de maturidade da Academia Alemã de Ciências e Engenharia (ACATECH), a instituição responsável por coordenar o trabalho de criação do termo Indústria 4.0, em um questionário que pode ser aplicado em empresas. Uma das etapas a serem percorridas para alcançar o objetivo da pesquisa é a definição do que é a Indústria 4.0 e da sua história. Depois, será necessário expor as particularidades do modelo de maturidade que será seguido. O terceiro passo do trabalho é aplicar o questionário em diferentes empresas. Isso levará naturalmente a uma discussão sobre o processo de aplicação do questionário, bem como uma descrição dos resultados observados mediante a coleta de dados.

É inegável a importância que a Indústria 4.0 está ganhando na atualidade. A tendência é que, conforme a competição das empresas se acirra e as tecnologias avançam, a Indústria 4.0 se torne cada vez mais importante para a sobrevivência dos negócios. Para tanto, é imprescindível que as organizações consigam identificar quais passos tomar para poderem se tornar empresas mais aderentes aos conceitos da Indústria 4.0.

1.1 Justificativa

A Indústria 4.0 é a Quarta Revolução Industrial. Apoiando-se em novas tecnologias, ela tem o potencial de revolucionar a maneira como a indústria funciona. Na era da globalização e da *internet*, nunca foi tão importante para as empresas estarem atentas às

mudanças de mercado e serem capazes de se adaptar às novas situações. É justamente nesse ponto que a Indústria 4.0 pode causar maior repercussão, tornando as empresas mais flexíveis e diminuindo o tempo de tomada de decisão. As empresas que souberem adotar e implementar com sucesso os conceitos da Indústria 4.0 terão uma vantagem competitiva importante frente aos concorrentes.

Para tanto, as organizações precisam ser capazes de identificar os elementos-chave da Indústria 4.0. Além disso, as empresas devem conseguir avaliar em que nível de aderência elas se encontram frente ao paradigma da Indústria 4.0. Para isso, é necessário que a empresa tenha uma ferramenta para avaliar as suas competências e poder planejar de modo efetivo os próximos passos em direção a um estágio de maturidade mais avançado.

Devido à dificuldade de compreender em que estágio de maturidade Indústria 4.0 uma empresa se encontra, essa pesquisa se justifica através da análise da maturidade Indústria 4.0 em contribuição para o seu público-alvo a vantagem de saber quais medidas tomar para atingir o próximo estágio de maturidade.

1.2 Objetivo Geral

Propor um questionário, baseado na metodologia de avaliação da ACATECH, que possa ser aplicado a uma empresa qualquer, de modo que, após análise posterior, viabilize a criação de um relatório acerca de seu estágio de maturidade Indústria 4.0, permitindo que a empresa possa entender as suas competências e deficiências para que possa elaborar um planejamento sobre os próximos passos a serem tomados, possibilitando que a empresa aumente a sua vantagem competitiva.

1.3 Objetivos Específicos

O presente trabalho apresenta dois objetivos específicos. O primeiro é detalhar a metodologia de avaliação da ACATECH, aprofundando nos conceitos e métodos propostos pela instituição para avaliar a maturidade de empresas em relação à Indústria 4.0. O segundo é discutir sobre o processo de aplicação do questionário, aprofundando nos pontos positivos e negativos encontrados e nas dificuldades vistas durante o desenvolvimento e a aplicação do questionário.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para a realização deste trabalho, diversos conceitos foram explorados e estudados de forma a servir de base para a elaboração do modelo de maturidade Indústria 4.0. O Primeiro tópico abordado foi a Indústria 4.0, passando pelos eventos mais importantes, ressaltando a relevância do tema e aprofundando alguns conceitos fundamentais. Após, resgatou-se na literatura algumas referências sobre modelos de maturidade e escalas Likert. Além disso, aprofundou-se no modelo de maturidade para a Indústria 4.0 da ACATECH. Por fim, apresentou-se algumas regras de classificação de porte de empresas e alguns desafios na elaboração de modelos de maturidade Indústria 4.0 para pequenas e médias empresas.

2.1 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é um tema que está ganhando cada vez mais espaço na mídia e nas discussões sobre produção, no entanto, o seu surgimento e concepções muitas vezes são cercados de incertezas. O termo Indústria 4.0 surgiu como uma forma de denominar a Quarta Revolução Industrial, mas também foi o nome dado ao programa de desenvolvimento estratégico do governo da Alemanha para fortalecer a sua competitividade internacional em manufatura. O termo Indústria 4.0 teve a sua primeira aparição em 2011, na Alemanha, durante uma apresentação a pedido do Ministério Alemão de Educação e Pesquisa durante a feira de Hannover.

O termo Indústria 4.0 surgiu de forma a englobar um novo paradigma de produção, que tem o potencial de alterar o curso da indústria, assim como as três primeiras revoluções industriais o fizeram. Essa nova revolução industrial seria baseada em sistemas cyber-físicos (CPS), que resultam na convergência do mundo físico com o mundo virtual. O conjunto de novas tecnologias de sistemas cyber-físicos, aliados ao poder da Internet das Coisas e de Serviços, seria capaz de remodelar o mundo industrial. A aposta é que esses elementos poderiam garantir um patamar confortável para a manufatura alemã competir com o resto do mundo no futuro (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

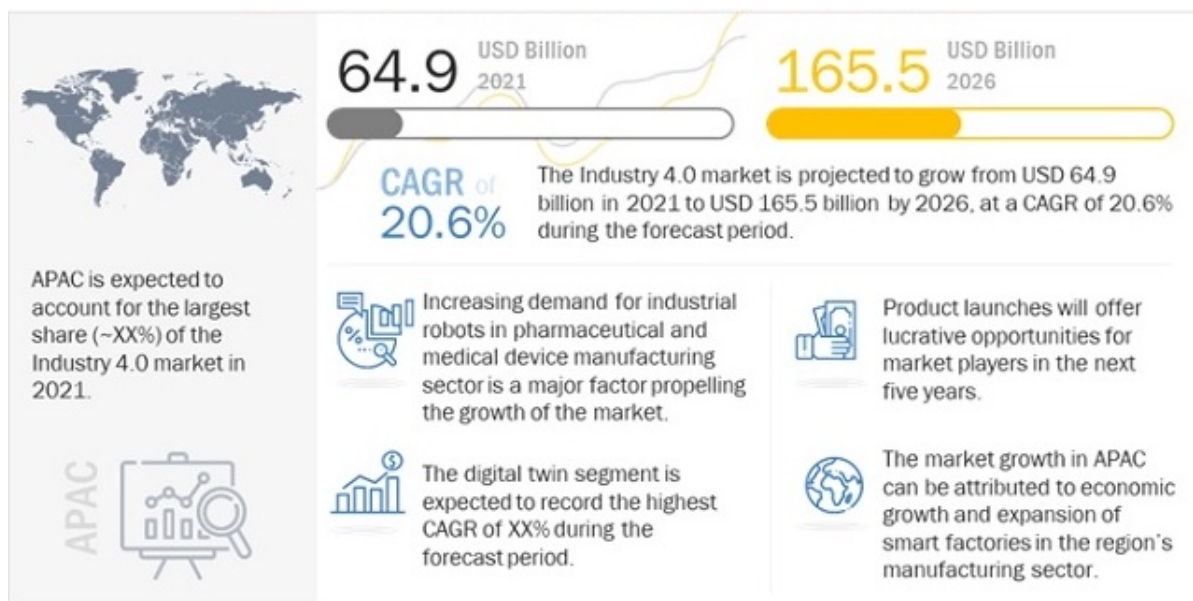
Apesar de o termo Indústria 4.0 ter sido originado na Alemanha, com claras ligações com o governo alemão, na mesma época também existiam iniciativas similares em outras regiões do mundo. Nos Estados Unidos e na Europa, por exemplo, havia iniciativas governamentais, e companhias privadas também estavam publicando artigos sobre a revolução industrial que estava por vir (CULOT *et al.*, 2020). Essas iniciativas, que tinham diferentes nomes como “Internet Industrial”, “Revolução Industrial” e “Smart Manufacturing”, apresentavam muitos pontos em comum. Hoje, o termo Indústria 4.0 é o que prevaleceu, no entanto, ainda não há uma definição extremamente clara sobre o que é Indústria 4.0 e ainda há uma confusão generalizada acerca dos termos utilizados e suas distinções.

Conforme Sacomano *et al.* (2018, p. 28), “[...] faz nascer o conceito de Indústria

4.0, cujo nome veio de um projeto da indústria alemã denominado Plattform Industrie 4.0 (Plataforma Indústria 4.0), lançado em 2011, na Feira de Hannover”. Este projeto é até hoje a principal referência no tema, apesar de existirem iniciativas similares de outros países, de empresas privadas e de consultorias.

De acordo com MARKETS AND MARKETS (2021) a projeção para o mercado da Indústria 4.0 é de que ele cresça de 64,9 bilhões de dólares em 2021 para 165,5 bilhões de dólares em 2026, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 – Projeções de Mercado para a Indústria 4.0 de 2021 até 2026



Fonte: Markets and Markets (2021)

Diante do que foi exposto, pode-se notar a grande oportunidade de crescimento da Indústria 4.0 nos próximos anos. De fato, à medida que tecnologias como Inteligência Artificial, Internet das Coisas, impressão em três dimensões (3D) e manufatura aditiva forem sendo cada vez mais adotadas, esse mercado terá cada vez mais oportunidades.

De acordo com Sacomano *et al.* (2018), muitos foram os eventos importantes que levaram à culminação da Indústria 4.0. Em 1957, pesquisadores militares dos Estados Unidos, no período da Guerra Fria, inventaram uma ferramenta capaz de mandar e receber dados de maneira descentralizada. Dez anos após, em 1967, foi a primeira vez que um sistema baseado em rede de *internet* foi colocado em uso. Demorou até 1989 para que a tecnologia estivesse madura para receber a sua primeira implantação experimental na Chevrolet-Pontiac-GM do Canadá. Em 2011, o governo da Alemanha, no decorrer da Feira de Hannover, apresentou uma iniciativa (Plataforma Indústria 4.0) que seria capaz de impulsionar a tecnologia, de modo com que a comunicação entre máquinas e humanos e também entre máquinas e máquinas pudesse otimizar o processo produtivo. Dois anos após, em 2013, o setor privado, além da mídia e do setor acadêmico, iniciaram de forma mais relevante a divulgação de informações e trabalhos relacionados com a Plataforma

Indústria 4.0. Finalmente, em 2015, o governo da Alemanha relança a iniciativa como uma das bandeiras de seu governo. Nesse contexto, é importante notar que a *internet* é uma das tecnologias que possibilitam que os conceitos da Indústria 4.0 se concretizem e que sem a sua criação, não seria possível a concepção da Indústria 4.0 como se tem hoje.

Pode-se dizer que, apesar de existirem algumas dificuldades acerca da definição de Indústria 4.0, esse é um novo paradigma de produção que norteará o desenvolvimento industrial e de outros setores nos próximos anos. Dessa forma, estudos e iniciativas nessa área serão de suma importância para o desenvolvimento de qualquer país, principalmente no contexto de mundo conectado e globalizado.

2.1.1 Indústria 4.0 como Diferencial Competitivo

Vantagem competitiva é um fator que pode determinar o sucesso de uma empresa no longo prazo e estar aderente ao paradigma de produção da Indústria 4.0 é uma maneira de se conseguir essa vantagem competitiva. Segundo Jermsittiparsert (2020), vantagem competitiva no ambiente de negócios é o fator que permite que uma empresa supere seus concorrentes. Ainda segundo o autor, uma das maiores vantagens competitivas dos últimos tempos é o uso de tecnologia. Portanto, a Indústria 4.0 pode ser uma maneira das empresas adquirirem vantagem competitiva, uma vez que o paradigma da Indústria 4.0 está baseado no uso de tecnologias. Contudo, é importante notar que a tecnologia não é o único fator que gera vantagem competitiva.

Como bem nos assegura Jermsittiparsert (2020), pode-se dizer que na literatura há algumas pesquisas que discorrem sobre a relação entre Indústria 4.0 e vantagem competitiva. Neste contexto, fica claro que a Indústria 4.0 é um grande catalisador de vantagem competitiva, uma vez que esse modo de produzir é baseado principalmente nas tecnologias mais vanguardistas disponíveis atualmente. Segundo o autor, não é exagero afirmar que há diversos estudos que explicam uma relação positiva entre vantagem competitiva e o resultado do negócio. Dessa forma, práticas da Indústria 4.0 poderiam ser ligadas diretamente a um melhor resultado do negócio.

Segundo Jermsittiparsert (2020), a Indústria 4.0 tem um papel significativamente positivo no desempenho organizacional. Assim sendo, pode-se concluir que conforme uma firma caminha em direção aos princípios da Indústria 4.0, aumentam as suas probabilidades de ter um melhor resultado financeiro e também as suas possibilidades de sobrevivência no longo prazo.

2.1.2 *Internet* das Coisas

O termo *Internet of Things* (IoT), ou, em português, Internet das Coisas, é um dos termos frequentemente relacionados com a Indústria 4.0. Segundo Wortmann e Flüchter (2015), o termo foi criado há mais de 20 anos e é atribuído ao trabalho do *Auto-Id Labs*

do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) sobre redes interconectadas por Identificadores por Rádio Frequência (RFID). Desde a criação do termo, muito evoluiu e hoje o termo engloba um conceito muito mais amplo que a mera utilização de tecnologias de identificação por rádio frequência. Segundo a União Internacional de Telecomunicações (ITU), uma autoridade no tema, IoT é definido como “uma infraestrutura global para a sociedade de informações, que possibilita serviços avançados através da conexão (física e virtual) de coisas com base na utilização de tecnologias intercomunicáveis de informação e comunicação, sendo elas atuais ou em desenvolvimento” (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, 2012, p.1, tradução nossa). Ainda segundo ITU, no contexto de IoT, coisas “trata-se de um objeto do mundo físico (coisas físicas) ou do mundo da informação (coisas virtuais), que pode ser identificado e integrado em redes de comunicação” (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, 2012, p.1, tradução nossa). De acordo com o explicitado acima, o que a Internet das Coisas propõe é um cenário em que objetos físicos estão conectados pela *internet*. Apesar desse conceito poder trazer muitas vantagens, como a configuração remota e autônoma de objetos físicos, é preocupante o fato da conexão do mundo físico e virtual, principalmente frente às ameaças virtuais, como vírus e hackers. Dessa maneira, pode-se concluir que a segurança é um fator importante na implementação desses sistemas.

Segundo Lampropoulos, Siakas e Anastasiadis (2019), IoT é uma das tecnologias que permite a realização de vários elementos da Indústria 4.0. Pode-se dizer que essa conexão de objetos em rede é uma configuração ideal para coletar muitos dados em tempo real. Esses dados podem ser posteriormente utilizados para alimentar um modelo virtual de tudo o que acontece em um ambiente de produção. Esses dados podem ser tratados com ferramentas como Inteligência Artificial (IA) e Big Data Analytics (BDA), para gerar conhecimento e informações relevantes. Esse novo conhecimento pode, então, acelerar e melhorar o processo de tomada de decisão. Por fim, esses sistemas de objetos conectados também podem ser fundamentais para a implementação de decisões sem a interferência de humanos. Essas capacidades são indispensáveis na adoção do paradigma de produção da Indústria 4.0. Conclui-se, portanto, que a Internet das Coisas é um dos grandes habilitadores da Indústria 4.0.

2.1.3 Inteligência Artificial

IA é um tema que está cada vez mais em evidência e muito se fala sobre a capacidade revolucionária de suas aplicações. Segundo Ongsulee (2017), Inteligência Artificial ocorre quando máquinas exibem inteligência. Em outras palavras, quando máquinas conseguem compreender o seu ambiente e propor soluções complexas que usualmente requerem cognição. Exemplos de Inteligência Artificial são carros autônomos, *softwares* de reconhecimento de voz e máquinas que conseguem ganhar de humanos no xadrez.

No contexto da IA, observa-se a existência de muitos termos que frequentemente são confundidos. Um desses termos é *Machine Learning*. Segundo IBM CLOUD EDUCATION (2020), *Machine Learning* é um braço dentro da Inteligência Artificial e da Ciência da Computação, que utiliza dados e algoritmos de forma a reproduzir capacidades cognitivas humanas que gradualmente aumentam a sua acurácia. Dessa forma, pode-se constatar que *Machine Learning* é uma maneira de aplicar a IA no contexto da programação, gerando soluções de engenharia para problemas específicos. Conforme o exposto, pode-se concluir que *Machine Learning* é uma das ferramentas que podem ser utilizadas no contexto da Indústria 4.0, principalmente quando é necessário elaborar soluções mais complexas ou realizar o processamento de dados com tecnologias mais avançadas.

2.1.4 *Big Data*

Segundo Sacomano *et al.* (2018), a Indústria 4.0 trabalha com uma massa de dados extremamente grande, uma vez que a conexão generalizada de objetos e a ampla utilização de sensores produzem muitos dados. Pode-se definir *Big Data* como sendo “[...] ativos de informação de alto volume, alta velocidade e/ou alta variedade, que exigem formas inovadoras e econômicas de processamento de informações, que permitem uma visão aprimorada, um melhor processo de tomada de decisões e uma melhoria na automação de processos.” (GARTNER, 2016, tradução nossa). Conforme mencionado anteriormente, redes de IoT, combinadas com sensores espalhados pelas diversas áreas de uma empresa podem coletar uma quantidade extraordinária de dados. Muitas ferramentas atuais de processamento de dados não estariam aptas a tratar esse volume grande de dados em uma velocidade razoável. Surge então, a aplicação do *Big Data Analytics*, que nada mais é do que um conjunto de tecnologias de análise de dados que pode lidar com as dificuldades e peculiaridades do *Big Data* (SACOMANO *et al.*, 2018). O emprego dessas ferramentas e tecnologias se mostram, nesse contexto, essenciais para a materialização dos conceitos da Indústria 4.0.

2.2 Modelos de Maturidade

Modelos de maturidade são uma maneira de modelar a realidade de uma empresa com o objetivo de avaliar a sua competência em diferentes áreas. Esses modelos podem ajudar as empresas a atingirem patamares mais eficientes e eficazes através de processos de melhoria contínua. Como bem nos assegura Sony e Naik (2020), pode-se dizer que modelos de maturidade são importantes no processo de reconfiguração organizacional, dando às empresas uma poderosa ferramenta no gerenciamento de projetos grandes e complexos. Neste contexto, fica claro que os modelos de maturidade são uma maneira de ajudar empresas a se situar e facilitar o planejamento de passos futuros. O mais preocupante,

contudo, é constatar que os modelos não são padronizados e dificilmente se aplicam às diferentes organizações, principalmente quando se considera os seus diferentes tamanhos, setores e realidades.

Jesus e Lima (2020) realizaram uma ampla busca na literatura, revelando que são muitos os modelos de maturidade de Indústria 4.0. No entanto, é muito difícil constatar que esses modelos seguem a mesma linha de raciocínio. Em sua pesquisa, foram constataadas duas categorias de modelos de maturidade, dividindo-se em modelos genéricos e específicos.

Conforme verificado por Jesus e Lima (2020), modelos genéricos não podem ser aplicados diretamente pelas empresas, que precisam da ajuda de agentes externos, como consultorias, para realizar esse processo. Trata-se inegavelmente de um tipo de modelo que serve para identificar o nível de maturidade, bem como os próximos passos que devem ser tomados, seria um erro, porém, atribuir o sucesso da aplicação desse modelo a todo tipo de empresa, uma vez que o acesso a essa metodologia de análise é restrito, deixando muitas empresas sem esse recurso ao seu dispor.

Pode-se dizer que modelos específicos são elaborados com um modelo de empresa em mente, levando em consideração características como o seu tamanho, setor de atuação e país. Neste contexto, para Jesus e Lima (2020) fica claro que esses modelos funcionam bem para as empresas que se enquadram no seu conjunto de especificidades. O mais preocupante, contudo, é constatar que muitas vezes os critérios de aplicação são muito específicos aos contextos em que foram desenvolvidos, apresentando uso limitado.

Segundo Jesus e Lima (2020), um dos elementos mais importantes na concepção de um modelo de avaliação é o questionário, uma vez que é através dessa ferramenta que serão coletados os dados necessários para realização das análises relevantes. Diante dessa realidade, é fundamental para o pesquisador conhecer as diretrizes mais importantes na elaboração de questionários. Jesus e Lima (2020 apud ARAÚJO; PEDRON; BITENCOURT, 2018) propõe diversos estágios, agrupados em três categorias para a criação de um questionário.

Na primeira categoria, estão os passos relacionados ao que existe na literatura sobre o tema. Nesse sentido, deve-se fazer uma busca no que está disponível nos artigos, revistas e livros publicados de forma a compreender o que já foi dito e feito sobre o tema e também deve-se buscar o conhecimento de especialistas no assunto. Dessa maneira, pode-se ter, então, uma representação mais ampla e fidedigna do tema. Nessa etapa, é fundamental a geração de possibilidades acerca do modo como será conduzida a pesquisa. É importante ressaltar que esses itens devem ser legitimados por autoridades no assunto.

Na segunda categoria, encontram-se as etapas relacionadas à construção do questionário, amostragem e coleta de dados. O primeiro passo é o desenvolvimento do questionário, que deve ser posteriormente julgado. Uma vez que o questionário esteja pronto, deve-se realizar um estudo piloto para se assegurar que o pesquisador pode passar com segurança

para a etapa de amostragem e coleta de dados.

Após a seleção da amostra e a aplicação da pesquisa, o pesquisador deve realizar as etapas da terceira categoria, que dizem respeito à análise dos dados e coleta de evidências estatísticas da eficácia do modelo. Para isso, deve-se realizar uma análise de dimensionalidade, de confiabilidade e, então, verificar a validade do modelo.

Jesus e Lima (2020) concluem que sejam feitos mais estudos e pesquisas sobre meios de adaptar esses modelos genéricos de forma com que eles possam ser aplicados de maneira mais automática nas empresas. Os métodos atualmente disponíveis não são tão acessíveis às companhias, especialmente tendo em vista a necessidade generalizada de procurar especialistas no assunto para poder realizar a avaliação de maturidade. Em relação aos modelos mais específicos, as suas aplicabilidades são mais limitadas. Devido ao fato desses modelos serem desenvolvidos com condições de contorno muito limitadas, eles acabam sendo aplicáveis apenas em número muito reduzido de casos. Dessa forma, também não servem ao propósito de funcionar como uma ferramenta que possa ser facilmente aplicada aos mais diversos tipos de empresa.

2.3 Escala Likert

Há várias maneiras de se obter respostas para perguntas, nesse contexto o pesquisador tem a sua disposição como uma ferramenta o uso das escalas Likert. Essas escalas servem para coletar dados a partir de respostas de uma maneira que os dados sejam padronizados e possam ser analisados de forma quantitativa. (ALLEN; SEAMAN, 2007)

Conforme verificado por Campos e Guimarães (2009), escalas Likert são um conjunto de respostas fechadas que são apresentadas em ordem crescente, que indicam com que grau o respondente concorda ou discorda com uma afirmação ou pergunta que foi feita. Trata-se inegavelmente de uma ferramenta para conseguir extrair dados das respostas, que muitas vezes são qualitativas, para realizar uma análise ou pesquisa. Assim, reveste-se de particular importância o uso dessas escalas para a coleta de informações em larga escala de maneira eficiente. Sob essa ótica, ganha particular relevância que apesar de existirem diversos tipos de escala, a escala Likert mostra-se como opção viável para diversas metodologias de pesquisa.

Segundo Lucian (2016, p. 13), pode-se dizer sobre as escalas Likert:

Essa nova forma de mensuração escalar, denominada mensuração multi-item, é um instrumento científico de observação e mensuração de fenômenos sociais idealizada com a finalidade de medir as atitudes por meio das opiniões de forma objetiva (LIKERT, 1932). Tal proposição obteve grande reconhecimento por parte de academia e sua aplicação se estende até os dias atuais. As escalas com esse intuito são também denominadas escalas de opinião. Nessa perspectiva, embora a escala de Likert seja amplamente aceita e estável, existem questões sobre a mesma que até o momento ainda não foram resolvidas, como a forma de analisar os dados e as variáveis ordinais que admitem apenas testes não

paramétricos, conforme afirmam Rasmussen et al. (1989), Jöreskog e Sörbom (1996) e Schriesheim e Castro (1996).

O uso de escalas Likert tem uma aplicação relevante quando o pesquisador quer tratar dados qualitativos de uma forma quantitativa. Quando as respostas possíveis são ordinais, isto é, possuem uma forma de ordenação, como é o caso da escala Likert, pode-se aferir o grau de concordância que um respondente possui com uma afirmação ou ideia. Essa forma de quantificar um sentimento de uma pessoa frente a uma afirmação, em termos numéricos, pode ser muito útil para tratar os dados de uma forma quantitativa. Sendo, então, possível utilizar uma série de instrumentos estatísticos para analisar os dados.

Conforme explicado acima, a literatura mostra que esse é um método comumente utilizado para a obtenção de respostas, que geralmente variam de discordo totalmente até concordo totalmente. A grande empregabilidade desse método pode ser justificada pela sua grande adaptabilidade. Não obstante, há uma discussão sobre a aplicabilidade dessa escala para a coleta de dados que não podem ser discretizados. Além disso, há também algumas críticas em relação à profundidade dos dados que são obtidos através do uso da escala Likert. Por fim, pode-se dizer que a sua grande utilização e emprego em pesquisas, além do vasto material escrito sobre o tema na literatura, podem justificar o seu uso. (FEIJÓ; VICENTE; PETRI, 2020).

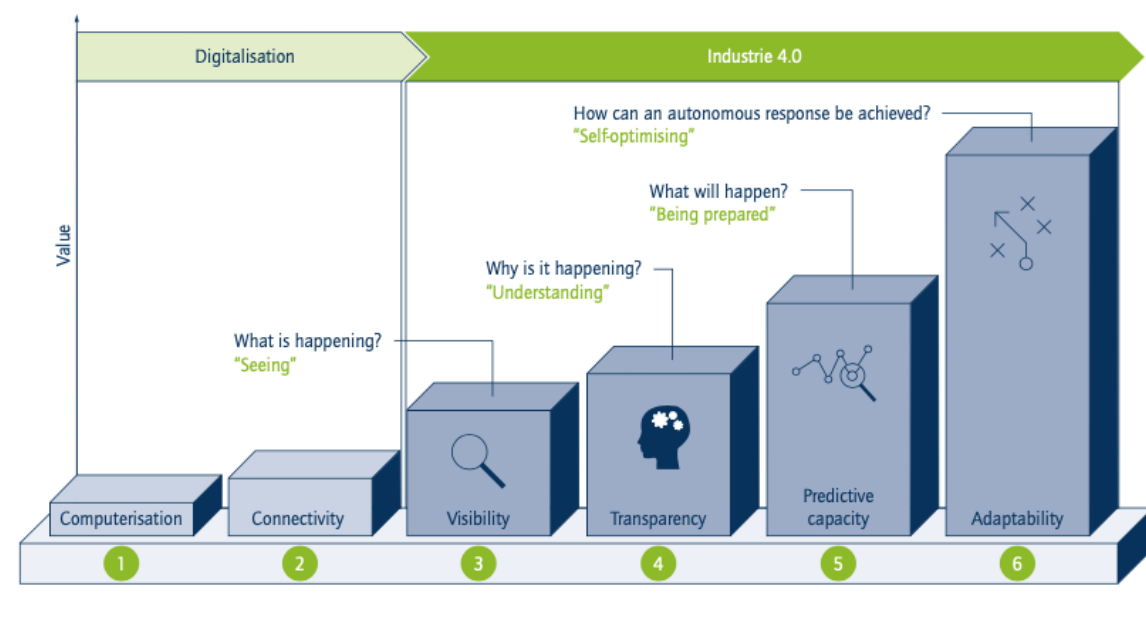
Fica evidente, diante desse quadro, que a escala Likert pode ser empregada como uma alternativa viável com sucesso. Contudo, é preciso também manter em mente as suas limitações, conforme elencado acima. Desse modo, não parece haver razão para não considerar o emprego dessa escala, especialmente quando se quer trabalhar dados qualitativos de forma quantitativa, dado que as ressalvas sobre o seu uso em um contexto específico sejam compreendidas e ponderadas.

2.4 Modelo de Maturidade da Indústria 4.0 da ACATECH

Schuh *et al.* (2017) sugerem a adoção de um índice de maturidade Indústria 4.0. O índice procura entender em que processo do estágio de transformação a empresa está para recomendar um caminho específico para que ela chegue nos seus objetivos de transformação. Para desenvolver o índice, os pesquisadores realizaram oficinas de trabalho e estudos de caso em companhias.

O estudo define uma escala de avaliação para mensurar a evolução na jornada para a Indústria 4.0. Os estágios de maturidade são **Visibilidade**, **Transparência**, **Capacidade Preditiva** e **Adaptabilidade**, tendo como requisitos as etapas de **Computadorização** e **Conectividade**. Um esquema dessa evolução pode ser visto na figura 2.

Figura 2 – Estágios de Maturidade da Indústria 4.0



Fonte: Schuh, Anderl, et al (2017)

De acordo com Schuh *et al.* (2017), os estágios de maturidade são divididos em dois grupos. Sendo o primeiro grupo um pré-requisito para a Indústria 4.0. Nesse grupo, estão dois estágios que não devem ser classificados como Indústria 4.0, mas é importante que eles sejam mapeados para orientar as empresas sobre o que precisa ser feito antes de conseguirem realmente entrar nos estágios da Indústria 4.0. Nesse contexto, pode-se dizer que não é possível alcançar os estágios da Indústria 4.0 sem passar por eles. O segundo grupo, relativo aos estágios da Indústria 4.0, abriga quatro níveis. É muito importante ressaltar que para que seja possível avançar um estágio, independentemente do grupo, é necessário já ter alcançado todos os estágios anteriores, uma vez que os conceitos são construídos um em cima do outro.

De forma geral, o primeiro grupo é relativo à digitalização. O primeiro estágio de maturidade desse grupo é o estágio da **Computadorização**. Esse estágio é referente à base da digitalização, uma vez que para uma empresa alcançá-lo, deve ter várias tecnologias de informação (TI) empregadas dentro da empresa. Esse passo representa uma mudança da visão de utilização de papéis e arquivos físicos e máquinas que não possuem interface digital, para um mundo em que as informações são digitais e os elementos produtivos são ao menos em parte digitais. Uma companhia que transcende essa fase, pode ir para o estágio de **Conectividade**. O estágio anterior era marcado pela existência de várias tecnologias de TI, espalhados pela empresa, sendo cada uma utilizada em seu contexto individual. Já nesse nível de maturidade, essas tecnologias devem se comunicar, especialmente as tecnologias que compõem os principais sistemas da empresa.

Uma vez que a empresa dominou os conceitos dos estágios da Computadorização

e da Conectividade, há uma base para se entrar efetivamente nos estágios de maturidade da Indústria 4.0. O primeiro estágio do segundo grupo é o estágio da **Visibilidade**. Nesse estágio, os processos da empresa conseguem ser monitorados desde os seus princípios até as suas conclusões, coletando-se, nesse processo, uma quantidade expressiva de dados. Dessa forma, é possível monitorar dentro da empresa o que está acontecendo. No entanto, não se trata apenas do monitoramento de áreas individuais, como uma célula de manufatura. Trata-se de um monitoramento no contexto mais geral da empresa, porque as informações devem ultrapassar esses limites individuais para formar uma visão completa do todo. Esse conjunto de elementos possibilita a criação de um modelo digital, atualizado o tempo todo, da empresa. Esse modelo é denominado sombra digital. Além de ser utilizado como referência do que está acontecendo na empresa a qualquer momento, também é uma base relevante para a tomada de decisões.

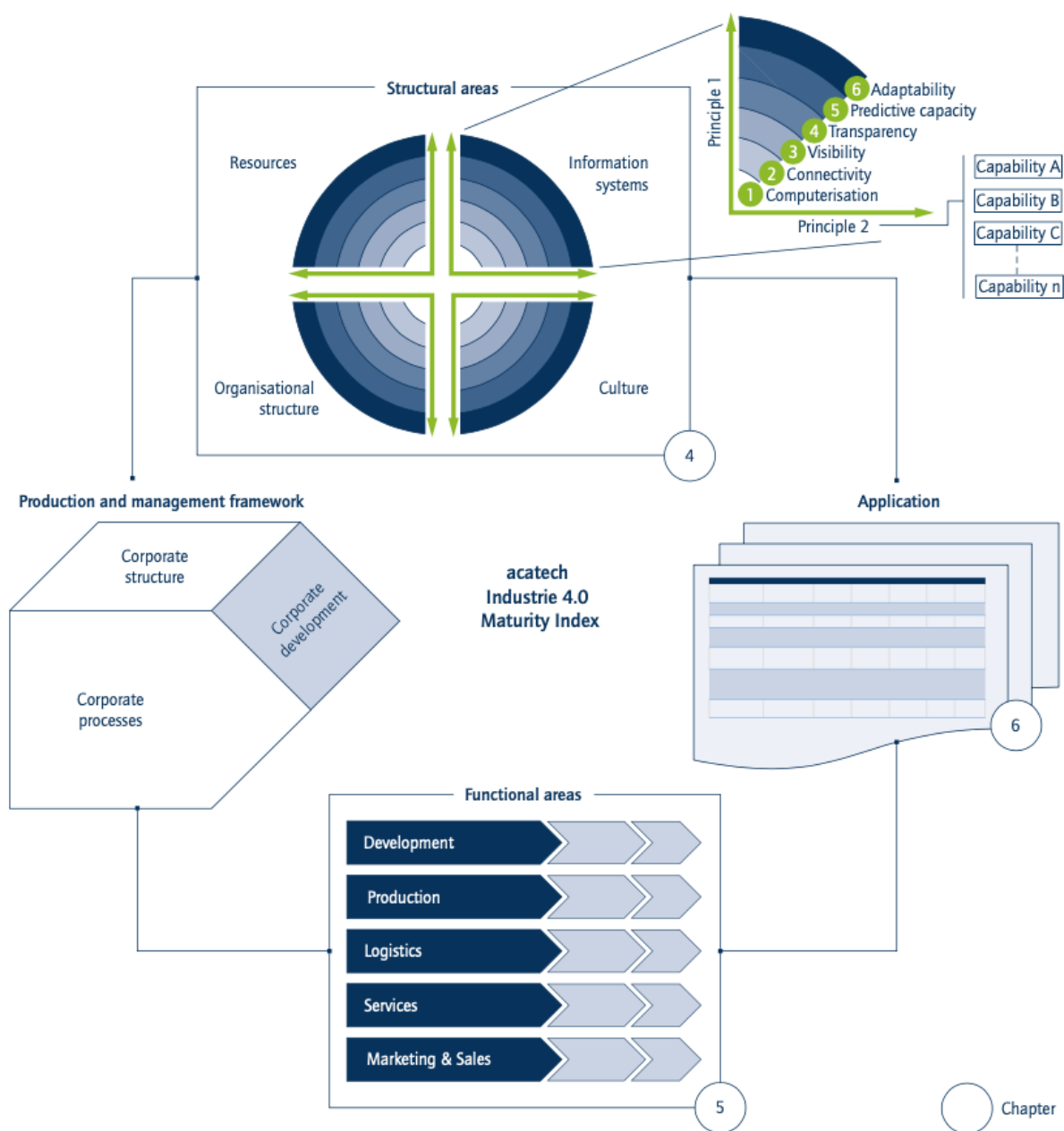
O próximo passo é o estágio da **Transparência**. Construído em cima do estágio anterior, apresenta como grande inovação a captura das relações de causa e efeito nos processos da companhia. De forma a entender o porquê das coisas estarem acontecendo, geralmente são empregadas diversas tecnologias de análise de dados. Nesse contexto, essas ferramentas são utilizadas para extrair informações importantes de um grande volume de dados através da aplicação de conhecimentos de engenharia. A inteligência resultante dessas análises pode ser utilizada para fundamentar e acelerar o processo de tomada de decisão.

Depois do estágio da Transparência, há o estágio da **Capacidade Preditiva**. Neste estágio, a empresa utiliza a sua sombra digital e os conhecimentos de causa e efeito adquiridos através da análise dos dados para simular a sua sombra digital no futuro. Ao alterar parâmetros e variáveis, pode-se gerar uma série de cenários possíveis para a sombra digital da empresa. Além disso, é possível dizer o grau de probabilidade de ocorrência de cada uma dessas simulações. Dessa forma, a empresa consegue avaliar as previsões e, então, se antecipar a possíveis eventos futuros de modo que ela possa tomar decisões e implementá-las rapidamente e em tempo hábil.

Por fim, o último grau de maturidade é o estágio da **Adaptabilidade**. Este estágio alavanca todos os outros para conseguir se chegar a uma resposta automática frente a diferentes cenários. Nesse contexto, decisões que são tomadas com base em simulações podem ser implementadas de forma muito rápida e sem a interferência de pessoas.

Definidos os estágios de maturidade, o estudo de Schuh *et al.* (2017) sugere aplicar para cada área funcional da empresa (desenvolvimento; produção; logística; serviços e marketing e vendas) um questionário de forma a definir, para cada uma das áreas, qual é a sua avaliação em relação a recursos, sistemas de informação, estrutura organizacional e cultura. Um esquema de como esse processo funciona pode ser visto na figura 3.

Figura 3 – Modelo de Avaliação do Índice de Maturidade Indústria 4.0 da ACATECH



Fonte: Schuh, Anderl, et al (2017)

No modelo exposto pelo estudo, cada área estrutural abrange diversos conceitos que formam a base da Indústria 4.0. Devido à extensão do conteúdo, ele está exposto no Apêndice A.

Após a aplicação do questionário, os autores sugerem que os objetivos e as metas da empresa sejam mapeados. Em um primeiro momento, deve-se identificar o estágio atual de maturidade da organização, isso significa mapear as suas deficiências e os seus pontos fortes. Em um segundo momento, identifica-se quais pontos devem ser desenvolvidos.

Esse exercício pode ser obtido através do confronto entre a visão da empresa no médio e longo prazo e o resultado da análise de maturidade. Finalmente, em um terceiro momento, pode-se elaborar um plano que contenha medidas concretas para que a companhia possa se desenvolver e atingir os seus objetivos.

Schuh *et al.* (2017) definem bem o que é o paradigma de produção da Indústria 4.0, apesar de todo o modelo de avaliação estar descrito, não há no trabalho implementações específicas e concretas para avaliar a maturidade das empresas, o que deixa uma boa margem para interpretação.

2.5 Regras de Classificação do Tamanho de uma Empresa

As definições sobre os tamanhos de uma empresa são um conjunto de regras, que de acordo com um órgão ou instituição, servem para classificar uma companhia como pequena, média ou grande. Segundo SEBRAE-NA/DIEESE (2012), uma empresa pode ter o seu porte classificado como Microempresa (ME), Empresa de Pequeno Porte (EPP), Empresa de médio porte e Grande empresa, de acordo com a área de atuação e número de empregados, como se pode ver na tabela 1.

Tabela 1 – Regras para classificação de porte de empresa de acordo com área de atuação e número de colaboradores

Porte	Setor: Indústria	Setor: Comércio e Serviços
Microempresa	até 19 pessoas ocupadas	até 9 pessoas ocupadas
Pequena empresa	de 20 a 99 pessoas ocupadas	de 10 até 49 pessoas ocupadas
Média empresa	de 100 a 499 pessoas ocupadas	de 50 a 99 pessoas ocupadas
Grande empresa	500 pessoas ocupadas ou mais	100 pessoas ocupadas ou mais

Fonte: SEBRAE-NA/DIEESE (p.17, 2012)

Conforme verificado por SEBRAE-NA/DIEESE (2012), o porte de uma empresa pode ser obtido através do número de funcionários e do setor de atuação. Trata-se inegavelmente de uma simplificação, uma vez que vários outros fatores, como receita bruta, também poderiam ser utilizados. No entanto, para os fins desta pesquisa, esses critérios são mais que suficientes para classificar o porte de empresas.

Classificar empresas é muito importante por diversos fatores. Além dos fatores mais claros, como para direcionar políticas públicas, como regras tributárias e planificação de incentivos, as classificações também são importantes em um contexto de pesquisa.

Segundo Wadhwa (2012), a maneira com que as pequenas e médias empresas conseguem lidar com mudanças em seu ambiente é distinta da maneira que as empresas

maiores enfrentam essas alterações. Naturalmente, torna-se importante classificar as empresas de acordo com o seu porte, para que se possa compreender questões particulares de cada empresa que estão relacionadas ao seu tamanho. Isso é especialmente válido em iniciativas de pesquisa.

Fica evidente, diante desse quadro, a necessidade de categorização das empresas de acordo com o seu porte e a importância do processo de classificação para a sociedade. Para essa pesquisa, será tomado como referência a classificação do porte de empresa de acordo com as regras definidas por SEBRAE-NA/DIEESE (2012), uma vez que essa é uma instituição de referência no ambiente econômico brasileiro.

2.6 Desafios na Elaboração de Modelos de Maturidade para Pequenas e Médias Empresas

Como bem nos assegura Robu (2013), pode-se dizer que as pequenas e médias empresas são as empresas que não apresentam um número muito expressivo de funcionários, uma receita muito elevada e um patrimônio líquido muito volumoso. Neste contexto, apesar de seus tamanhos reduzidos, pode-se afirmar que essas empresas são primordiais elementos da economia, não importando se o contexto é interno a um país ou global. O mais preocupante, contudo, é constatar que essas empresas apresentam diversos pontos de afastamento em relação às empresas maiores. Não é exagero afirmar que é importante tratá-las de uma maneira diferenciada em relação às empresas maiores no tocante à maneira de avaliar as suas maturidades frente à Indústria 4.0. Destaca-se, portanto, uma necessidade de aprofundamento na pesquisa sobre possíveis métodos disponíveis para avaliar empresas a depender do tipo de porte.

Pela elevada importância das Pequenas e Médias Empresas (PME) na economia, pode-se concluir que essas empresas são muito importantes no contexto da Quarta Revolução Industrial. Segundo Wuest *et al.* (2018), há evidências grandes que mostram que as PME, em função do seu porte, têm uma série de dificuldades em implementar os conceitos da Indústria 4.0 na prática. Como forma de tentar endereçar esse problema, Mittal *et al.* (2018) realizaram uma vasta busca na literatura de forma a mapear as principais disparidades entre as características das PME e das Empresas Multinacionais (EMN). O resultado desse mapeamento pode ser visto na tabela 2.

De acordo com o exposto, Mittal *et al.* (2018) concluíram que as PME estão defasadas em relação às EMN em alguns quesitos. Primeiramente, pode-se dizer que as empresas menores, sejam elas pequenas ou médias, têm à sua disposição menos recursos financeiros. Isso significa menos capital para investir, por exemplo, em tecnologias que podem fomentar o desenvolvimento da Indústria 4.0, como IoT, *Big Data*, aquisição de equipamentos, formação de pessoal, entre outros. Além disso, geralmente as PME não possuem o mesmo nível de técnicas de manufatura que as EMN têm ao seu dispor, dessa forma, muitas vezes, essas

Tabela 2 – Comparação das características das PME e das EMN

#	Características	PME	EMN
1	Recursos financeiros	Baixo	Alto
2	Uso de tecnologias avançadas de manufatura	Baixo	(Muito) alto
3	Guarda-chuva de software (incluindo <i>Data Analytics</i>)	Baixo (geralmente soluções customizadas)	Alto (com mais soluções padronizadas)
4	Pesquisa e desenvolvimento	Baixo	Alto
5	Natureza da especialização do produto	Alto	Baixo
6	Consideração de padrões	Baixo	Alto
7	Cultura organizacional/flexibilidade de liderança	Baixo	Alto
8	Estratégica da empresa	Determinado pelo líder (dono)	Pesquisa de mercado e análises precisas
9	Tomada de decisões	Restringido ao líder/alguns detentores do conhecimento	Conselho e consultores internos e externos
10	Estrutura organizacional	Menos complexa e informal	Complexa e formal
11	Atuação de recursos humanos	Vários domínios	Domínios especializados
12	Exposição ao desenvolvimento de recursos humanos	Alto na indústria/baixo fora da Indústria	Baixo dentro da Indústria/alto fora da indústria
13	Indústria do conhecimento e experiência	Focada em uma área específica	Espalhada por diversas áreas
14	Parcerias com universidades/instituições de pesquisa	Baixo	Alto
15	Atividades importantes	Terceirizadas	Internas à organização
16	Dependência em uma rede colaborativa	Alto	Baixo
17	Relação com cliente/fornecedores	Alto (forte)	Baixo (não tão forte)

empresas devem investir mais tempo e recursos adquirindo as tecnologias de manufatura necessárias para fundamentar as práticas da Indústria 4.0. Outro fator que prejudica as PME frente às EMN é a sua menor aderência a padrões no geral. Esse ponto é contrário aos ideais da Indústria 4.0, que prega a utilização de padrões, principalmente para comunicação de máquinas, de forma a melhorar a conectividade dentro da empresa. Também se pode dizer que a cultura é um fator menos desenvolvido nas empresas de menor porte. Essa é uma desvantagem das empresas menores frente aos padrões da Indústria 4.0, que prezam muito pela componente da cultura como forma de fomentar a mudança, a inovação e a melhoria dos processos. Mais uma desvantagem das PME é que os seus colaboradores atuam em vários domínios, sendo menos especializados e focando menos em áreas específicas. Nesse sentido, as empresas de pequeno ou médio porte deveriam desenvolver mais as habilidades dos profissionais, fomentando o conhecimento e especialização. Ainda pode-se dizer que, geralmente, as empresas menores apresentam menos parcerias com centros de pesquisa e universidades, o que as deixam em desvantagem. Por fim, as PME precisam desenvolver mais as suas parcerias com outros agentes na cadeia de valor. Esse é um ponto importantíssimo na Indústria 4.0, uma vez que uma organização consegue se adaptar melhor e tomar melhores decisões se ela está melhor estruturada na sua cadeia de valor, podendo coordenar os seus esforços com outras empresas e tendo mais informações de outros agentes para poder melhor fundamentar as suas decisões. Diante do exposto, fica evidente a posição de desvantagem que as PME ocupam em relação às EMN quando o assunto é Indústria 4.0.

De acordo com Mittal *et al.* (2018), a grande maioria dos estudos e das consultorias utilizam modelos elaborados para grandes empresas nas pequenas e médias empresas como se não existissem diferenças significativas entre essas organizações que fossem afetar o resultado da avaliação de maturidade. No entanto, essa prática não está de acordo com o que foi apresentado anteriormente. Dessa forma, há uma necessidade de realização de modelos específicos para as PME ou ao menos uma necessidade de adaptação dos modelos existentes.

Mittal *et al.* (2018) tecem críticas ao modelo da ACATECH, dizendo que, apesar de ele ser genérico, dois pilares importantes de avaliação são as tecnologias de ponta e o componente da cultura, que trata do pensamento coletivo, principalmente no tocante à inovação e à percepção dos erros como agente de mudança. Segundo eles, esses componentes não estariam disponíveis nas PME. Outro comentário feito sobre o índice é que ele não pode ser aplicado como ferramenta de autoavaliação. Nesse contexto, a empresa que quiser ser avaliada, terá que compreender bem os conceitos antes de responder a qualquer tipo de pesquisa. Posteriormente, então, esses resultados deveriam ser analisados por um especialista, geralmente uma consultoria externa. No caso das PME, isso torna o processo mais difícil, uma vez que seus recursos e conhecimentos são mais limitados. Além dessa questão de aplicabilidade, os autores também sugerem a criação

de um nível de maturidade 0. Eles justificam essa necessidade argumentando que muitas empresas maiores já começaram as etapas de digitalização, no entanto, muitas PME ainda estariam em uma fase anterior. Os autores concluem exaltando a importância de se ter uma ferramenta de autoavaliação de maturidade para as PME.

3 METODOLOGIA

Como bem nos assegura Lakatos e Marconi (2003), pode-se dizer que a pesquisa é um exercício reflexivo regido por um conjunto de formalidades e que deve seguir uma metodologia científica com objetivo de melhorar a percepção sobre a realidade. Neste contexto, fica claro que a pesquisa permite que novos campos do saber possam ser descobertos e capacita a sociedade para melhor enfrentar os desafios do presente e do futuro. O mais preocupante, contudo, é constatar que a pesquisa requer certas formalidades que podem ser difíceis de serem seguidas.

Segundo Lakatos e Marconi (2003, p. 160), a investigação aplicada “estuda um problema relativo ao conhecimento científico ou à sua aplicabilidade”. Tendo em vista a aplicabilidade do desenvolvimento dessa pesquisa, o presente trabalho é de natureza aplicada.

Pesquisa exploratória é aquela que geralmente apresenta bastante flexibilidade para aprofundar o problema e construir hipóteses, geralmente utilizando diversos métodos de pesquisa, como estudo da literatura, entrevistas e estudo de caso. (GIL, 2002, p. 41).

A pesquisa descritiva é aquela que busca descrever um fenômeno, problema ou características de um grupo. Geralmente, esse tipo de pesquisa utiliza meios de coleta de informação padronizados, como questionários. (GIL, 2002, p. 42).

Na primeira etapa da pesquisa, observou-se que ela foi classificada como exploratória. Dessa forma, foi possível melhor entender o tema e as suas dificuldades para fundamentar uma melhor escolha das hipóteses, especialmente em relação à seleção da metodologia de avaliação de maturidade e elaboração do questionário. Já na segunda etapa, a pesquisa foi classificada como descritiva, uma vez que se limitou a descrever os fenômenos observados durante a sua condução e os resultados verificados.

Conforme observado por Fonseca (2002), a pesquisa quantitativa baseia-se na manipulação de dados obtidos através de ferramentas padronizadas para se tirar conclusões de um determinado assunto. Trata-se inegavelmente de uma maneira objetiva e estatística para se compreender a realidade, seria um erro, porém, atribuir a esse tipo de pesquisa uma eficácia absoluta, uma vez que podem existir outros aspectos menos tangíveis do assunto, cuja abordagem pode ser mais difícil se tratada de forma quantitativa.

Segundo Minayo (1994, p. 21), pode-se dizer que a pesquisa quantitativa “[...] trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis”. Apesar de a pesquisa quantitativa ser diferente da qualitativa, ainda segundo a autora, elas não são metodologias inconciliáveis, muito pelo contrário. Na verdade, essas duas metodologias são complementares. Dessa maneira, pode-se dizer que ao utilizar uma metodologia quali-quantitativa, pode-se chegar a conclusões e descrições mais embasadas.

Devido à maior facilidade de obtenção de dados através de pesquisas padronizadas, conforme citado acima, a abordagem quantitativa será utilizada na condução da pesquisa. No entanto, para o entendimento melhor do problema e das condições únicas de cada respondente da pesquisa, também será utilizada a abordagem qualitativa. Dessa forma, uma vez que a fundação da pesquisa é um problema, utilizou-se o raciocínio hipotético dedutivo para que, com base em uma hipótese e através de testes e experimentos, se pudesse chegar a uma solução para o problema.

De acordo com Fonseca (2002), a técnica de Pesquisa Bibliográfica se baseia na busca de informações na literatura científica, podendo ser pesquisados trabalhos científicos, livros publicados, periódicos e qualquer outro material documental disponível. Ainda segundo o autor, qualquer trabalho científico utiliza essa metodologia em sua parte inicial para se estudar o que se sabe sobre o tema e respaldar o trabalho a ser desenvolvido.

Conforme Gil (2002, p. 54), a técnica de Estudo de Caso “Consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, [...]”. Usualmente, a fonte de dados empregada para essa técnica é a de aplicação de questionário.

O presente trabalho empregou a técnica de pesquisa bibliográfica em sua parte inicial, uma vez que essa é uma boa técnica para se ter um bom entendimento do tema e suas teorias. Além disso, empregou-se a investigação por estudo de caso, uma vez que seria muito difícil avaliar os resultados da pesquisa com profundidade sem delimitar o grupo de firmas estudadas.

Como instrumento para a coleta de dados, na fase inicial, procurou-se avaliar diversos livros, artigos e relatórios publicados. Dessa forma, pôde-se ter uma melhor base teórica sobre o tema e somente assim foi exequível escolher um modelo de maturidade confiável para ser utilizado como base para a pesquisa. Não obstante, nessa primeira etapa, também foi utilizado como instrumento de coleta de dados uma entrevista com especialista, para se ter uma visão mais geral do tema de acordo com uma pessoa que vivenciou na prática como funciona um processo de avaliação de maturidade.

Por fim, foi utilizado como instrumento de coleta de dados o questionário, pois com ele seria possível realizar a padronização da coleta das informações. Dessa forma, poder-se-ia concluir se a aquisição de dados através de perguntas padronizadas seria uma condição suficiente para avaliar o nível de maturidade Indústria 4.0 de uma empresa. Além disso, seria possível depreender se um único questionário seria capaz de atender às necessidades de avaliação de empresas diferentes.

De acordo com Souza, Santos e Dias (2013, p. 84):

Os secundários referem-se à análise dos documentos já existentes na organização (como regulamentos, normas, manuais e outros). Os dados secundários, na maior parte dos casos, não oneram o orçamento da pesquisa, estão imediatamente disponíveis, a custos baixos ou nulos.

Ainda de acordo com Souza, Santos e Dias (2013, p. 84):

Cabe lembrar que os dados primários são coletados porque não existe o dado necessário, oferecendo, assim, a vantagem de fazermos um levantamento sob medida, tornando-se possível coletar todas as variáveis necessários, definidas e medidas, de maneira a atender à pesquisa e, ainda, proporcionar o contato direto com o fenômeno que é objeto de análise e investigação. Os dados primários referem-se à coleta por meio de instrumentos (observação, questionários, entrevistas, formulários, testes) aplicados à amostra.

Dados primários foram reunidos, uma vez que o questionário utilizado para a coleta de informações é novo, bem como as informações que foram obtidas na entrevista com especialista. Além disso, a pesquisa também empregou dados secundários, na medida em que foram consultados na literatura para embasar partes do trabalho.

O princípio do projeto se deu com uma pesquisa na literatura acadêmica sobre Indústria 4.0 e sobre avaliação de maturidade de empresas em relação à Indústria 4.0 na plataforma de busca integrada de artigos, livros e revistas da Universidade de São Paulo (USP) e no *Google Scholar*. Além disso, outros termos que apresentam significados similares à Indústria 4.0 também foram pesquisados, como “*Smart Manufacturing*”.

Analisou-se os principais estudos sobre os temas e escolheu-se os artigos e livros principais para o embasamento do trabalho, considerando a relevância dos tópicos. Além disso, levou-se em consideração a importância do trabalho, de acordo com o número de citações. Esses textos estão referenciados na revisão da literatura.

Após uma análise inicial da literatura, principalmente com base no texto da ACATECH, procurou-se extrair de forma sintética os principais componentes da Indústria 4.0, de forma a não se ater a tecnologias, mas sim a princípios. O texto da ACATECH serviu como uma boa fundação pela instituição ser uma das principais referências no tema, sendo inclusive responsável por criar o termo Indústria 4.0. Pelo fato de a ACATECH ter muitos trabalhos publicados, os seus artigos e documentos serviram como uma forte base para o presente trabalho.

O estudo de avaliação de maturidade da ACATECH delineia um método para avaliação da maturidade Indústria 4.0 de empresas, com um foco em empresas de manufatura. No entanto, o texto não apresenta uma maneira estruturada de realizar a avaliação. O que é definido pelos autores é uma escala para se avaliar a maturidade. O estudo apresenta quais são os fatores primordiais para cada uma das áreas estruturais da organização e quais são os pontos relevantes no contexto da Indústria 4.0. No entanto, há uma lacuna entre como aplicar todos os conceitos explicados em uma empresa de forma prática. Sendo assim, o relatório da ACATECH diz de forma genérica para aplicar um questionário em cada uma das áreas funcionais da companhia, no entanto, não disponibiliza um questionário para aplicação. Desse modo, o presente trabalho tratou de construir um questionário concreto para realizar a avaliação de empresas.

O primeiro passo foi a tentativa de extrair um questionário a partir das diretrizes propostas no texto da ACATECH. A primeira ideia foi montar um questionário em que cada pergunta iria conferir uma pontuação contribuindo para cada uma das etapas do desenvolvimento 4.0. Sendo assim, uma pergunta específica poderia contribuir com a nota da empresa, por exemplo, para a digitalização. Outra pergunta poderia contribuir com a nota para processamento de dados, tomada de decisões e comunicação. A grande dificuldade foi que as diretrizes não mapeavam de forma muito clara de um conceito para uma pergunta. E, muitas vezes, o resultado da maturidade da empresa em certa área não depende somente das respostas individuais de cada pergunta, mas sim da combinação das respostas. Combinações diferentes apresentam resultados diferentes. Por exemplo, não importa muito se a empresa utiliza certos processos avançados na tomada de decisão se ela ainda não passou por uma fase de digitalização. Se ela ainda está nessa etapa inicial, as respostas sobre a tomada de decisão na empresa são irrelevantes, pois elas não afetarão o nível de maturidade da empresa. Primeiro a empresa terá que se computadorizar, depois ela terá que ir para o passo de conectividade e assim por diante, uma vez que cada nível é um pré-requisito para o próximo. Frente a essas dificuldades, decidiu-se apresentar somente as perguntas do questionário para um especialista da área para apreciação.

Em posse desse questionário piloto, realizou-se uma entrevista com o fundador de uma consultoria que apresenta como um dos focos a avaliação da maturidade Indústria 4.0 de empresas. O profissional expôs diversos pontos ao tecer os seus comentários sobre o questionário que lhe foi apresentado. Uma das observações relevantes foi que o primeiro passo para a elaboração de um questionário deveria ser a definição do que se gostaria de avaliar. Segundo o entrevistado, uma avaliação da empresa pode ser feita em vários níveis. Por exemplo, a análise poderia ser feita em um nível corporativo, avaliando a maturidade da empresa na totalidade, de maneira mais genérica. Outra possibilidade seria avaliar uma unidade fabril, conferindo um grau de maturidade para cada uma das unidades avaliadas. Por fim, poder-se-ia chegar até mesmo a uma avaliação por processos, conferindo um importante aprofundamento na avaliação. Além disso, o especialista pontuou que a grande dificuldade do processo era a formulação do questionário. Esse processo envolve muitas decisões e muitas etapas, por exemplo, como será aplicado o questionário, se ele será feito na forma de autoavaliação ou será preenchido por um especialista, ou ainda por um funcionário assistido por um especialista. Outras questões importantes levantadas pelo profissional é a definição de quantas pessoas responderão o questionário, e de quais áreas da empresa. Ainda, deve-se definir se o questionário será de múltipla escolha ou com respostas abertas. O entrevistado assinalou que em sua prática de consultoria, era comum realizar a avaliação por múltipla escolha, pois há uma economia de tempo. Além disso, segundo ele, a avaliação *online* é temerária e há uma necessidade de se avaliar o que e como está sendo respondido. Ademais, deve-se trazer o mínimo de informação para capacitar quem está respondendo o questionário (sensibilização, capacitação e entrevista).

Por fim, foi questionado ao especialista se somente um questionário poderia ser suficiente para realizar a avaliação. Segundo ele, a resposta depende do objetivo. Se o objetivo for fazer uma pesquisa, ele pensa que a metodologia é válida. No entanto, se o objetivo for elaborar um planejamento estratégico, por exemplo, mais elementos serão necessários.

Com base no que foi comentado durante essa exposição, o questionário foi melhorado. O passo seguinte foi uma entrevista com um executivo e empreendedor que desenvolveu a sua carreira em grandes empresas de tecnologia, além de ser proprietário de uma indústria de cosméticos. O profissional pontuou que não teve muitos problemas para entender as perguntas, no entanto, precisou de ajuda para compreender alguns termos e algumas explicações foram necessárias. A opinião mais relevante do entrevistado foi que o questionário estava muito longo, uma vez que a entrevista durou cerca de 1h. Além disso, ele pontuou que havia uma necessidade de se explicar um pouco melhor qual deveria ser o foco do respondente. Por exemplo, no caso do questionário estar sendo aplicado a uma multinacional, não estava muito claro quando o entrevistado deveria responder sobre a *holding*, quando deveria responder pensando apenas no braço da empresa sediado no Brasil ou então se a pergunta se restringia a uma diretoria específica. Reunindo os comentários recebidos na entrevista, foi possível realizar mais algumas melhorias no questionário, como a adição da área objetivo de estudo no começo das perguntas e a alteração do texto de instruções.

O próximo passo foi a apresentação do questionário para um estudante de pós-graduação na Escola Politécnica. O estudante pontuou que gostou do questionário e também fez alguns comentários de melhoria. A questão mais relevante trazida por ele foi a sugestão de situar o respondente sobre a etapa do questionário que se estava respondendo. Dessa forma, o questionário foi transformado em uma apresentação PowerPoint em que foi inserida uma linha do tempo que mostraria exatamente em que passo do questionário o respondente se encontrava, como pode ser visto na figura 4. Além disso, o entrevistado fez apontamentos de melhoria pontuais em algumas perguntas.

Figura 4 – Detalhe da apresentação de PowerPoint situando o respondente sobre qual etapa do questionário ele estava respondendo



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Após esse processo iterativo de melhoria do questionário, chegou-se a uma versão final que estava apta a ser enviada para diversas pessoas para realizar a análise das empresas.

Para ganhar escala na velocidade e volume das respostas, decidiu-se criar um

site. Nele, pode-se encontrar conteúdos sobre Indústria 4.0 para ajudar na instrução das pessoas sobre o que é Indústria 4.0 e capturar a atenção dos leitores, de forma que se interessem por preencher a pesquisa. Tentou-se abordar um aspecto mais prático dos benefícios da Indústria 4.0, dado que essa é a perspectiva mais comercial do trabalho, dando uma ferramenta para que as empresas possam avaliar a sua evolução e consigam melhorar de nível, sempre tendo em vista o benefício econômico para a empresa.

O *site* foi construído de maneira iterativa, intercalando implementações com validações de possíveis usuários da plataforma (acessível em <http://industria40.herokuapp.com/>). Inicialmente, a justificativa para a criação do *site* é que com ele seria possível ganhar escala no volume de dados coletados sobre empresas. Para testar o *site*, realizaram-se três entrevistas piloto, com estudantes de mestrado da Escola Politécnica da USP. Apesar de serem estudantes da mesma faculdade, o conhecimento deles sobre o tema era bastante divergente. Além disso, os estudantes responderam ao questionário sobre empresas e áreas diferentes. Com essa avaliação piloto, alguns pontos muito relevantes na aplicação do questionário foram percebidos. O mais importante deles é que o conjunto de perguntas apresentado era relevante, no entanto, não necessariamente todo o conjunto de perguntas seria aplicável para todos os tipos de empresas e setores. Por exemplo, uma pergunta sobre maquinário de produção não é muito relevante na área de pessoas de uma empresa de *software*. Além disso, notou-se que devido ao conhecimento muito discrepante entre os respondentes, muitas vezes o respondente achava que a pergunta estava se referindo a um conceito quando, na verdade, estava se referindo a outro. Dessa forma, decidiu-se por apenas realizar o preenchimento do questionário de forma guiada. Com o acompanhamento do autor, poderia se dar a explicação e contextualização relevante de cada pergunta ao respondente, garantindo a qualidade das respostas. Essa foi uma observação interessante que estava de acordo com o que foi exposto na entrevista realizada com especialista anteriormente.

Passada essa fase de validação, o autor realizou diversas entrevistas, com o auxílio do *site*, com pessoas de setores e conhecimentos diferentes, de modo a avaliar a maturidade das empresas em que essas pessoas trabalham. A partir desse exercício, pôde-se realizar uma série de conclusões sobre a realidade das empresas analisadas e como diferentes setores estão utilizando os conceitos de Indústria 4.0 e onde ainda há muito espaço para melhorias.

Para a realização da pesquisa de validação do questionário, empregou-se o método da amostragem por acessibilidade. Ainda que esse método seja desprovido de rigor estatístico, para o objetivo da pesquisa de avaliar a empregabilidade do questionário para diversos tipos e tamanhos de empresa, essa técnica de amostragem demonstrou-se válida.

De acordo com Gil (2008, p. 94), a amostragem por acessibilidade ou por conveniência:

Constitui o menos rigoroso de todos os tipos de amostragem. Por isso mesmo é

destituída de qualquer rigor estatístico. O pesquisador seleciona os elementos a que tem acesso, admitindo que estes possam, de alguma forma, representar o universo.

Ainda que a amostra utilizada não possa ser utilizada para extrapolar os resultados para a população, as empresas brasileiras, a sua diversidade possibilita avaliar como ocorreu a aplicação do questionário em empresas grandes e pequenas, industriais ou de serviços, que atuam nos mais diversos setores como bens de consumo, alimentos, cosméticos, mercado regulatório, petroquímico, entre outros. A variedade de empresas pesquisadas formou um bom entendimento sobre o processo de avaliação e também possibilitou descrever a realidade observada dentro das 13 empresas avaliadas.

A avaliação da maturidade Indústria 4.0 de empresas é um tema complexo e que ainda tem muito a ser estudado. O mais importante na condução do trabalho foi a fundamentação em textos confiáveis, a opinião de especialistas, a abordagem iterativa e a utilização de metodologias qualitativas e quantitativas para descrever os resultados observados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de Caso

A amostra escolhida para realizar a pesquisa foi uma combinação de empresas de diferentes setores, diferentes finalidades e diferentes portes, de modo a verificar como a avaliação da maturidade difere ao se alterar essas variáveis. Ainda que essa amostra seja ainda muito particular para extrapolar os resultados para a população inteira, o número de pesquisas realizadas foi suficiente para englobar uma boa variedade de empresas. Desta forma, espera-se que o presente trabalho possa trazer observações relevantes sobre o processo de avaliação da maturidade dessas empresas, pontuando os pontos fortes e fracos do questionário elaborado, bem como relatando e discutindo o estágio de maturidade das empresas avaliadas.

Foram entrevistados funcionários ou ex-funcionários de empresas que atuam em São Paulo, mas que podem também ter unidades em outras localidades no Brasil e no exterior. Essas empresas atuam nos mercados de tecnologia, varejo, petroquímico, serviços, educação, consultoria, tecnologia e canais, serviços automotivos, regulatório, terceiro setor, bancário, cosméticos, investimentos e bens de consumo. Foram entrevistados majoritariamente empresas de grande porte, pois os conceitos de Indústria 4.0 são ainda mais aplicáveis às organizações com maior preparo. No entanto, também foram entrevistadas empresas menores de forma que se pudesse avaliar o processo de determinação do índice de maturidade Indústria 4.0 também dessas companhias.

Como todas as empresas escolhidas para realizar o estudo são divididas em ao menos alguns setores, a pesquisa limitou-se a analisar a maturidade Indústria 4.0 do setor ou área de atuação na empresa do funcionário entrevistado. Para que seja feita uma análise da empresa como um todo, como se explicitou na análise da literatura, deve-se entrevistar e coletar dados de diversas áreas da empresa, porque cada área funcional terá um nível de maturidade diferente. Desse modo, em cada questionário buscou-se analisar apenas uma parte da empresa, a não ser que o funcionário se sentisse confortável para falar da empresa como um todo.

A amostra selecionada abrange 13 empresas, sendo que o questionário foi aplicado em 14 pessoas. Os respondentes das pesquisas atuam nas mais diversas áreas empresariais, como logística, *e-commerce*, produção, vendas, entre outros. Das empresas respondentes, 11 são de grande porte e 2 são de pequeno porte.

A pesquisa ocorreu buscando conhecidos ou indicações de pessoas que trabalhavam nas mais diversas empresas. O foco na busca por respondentes foi a diversidade, visto que uma amostra mais diversa poderia esclarecer mais pontos sobre a validade de aplicação do questionário. Além disso, mais empresas de áreas e setores diferentes possibilitariam inferir mais particularidades do processo de avaliação da maturidade Indústria 4.0, bem como

as particularidades enfrentadas por cada empresa, considerando o seu setor de atuação, tamanho, recursos e capacidades.

Os respondentes ideais para a pesquisa eram aqueles que detinham algum conhecimento, ainda que básico, sobre tecnologias, digitalização e tendências da Indústria. No entanto, a variedade de respondentes quanto aos seus históricos também foi objeto do estudo, uma vez que fazia parte da pesquisa validar a aplicação do questionário para públicos diferentes.

As pessoas selecionadas responderam às perguntas através de um *site*, acessível em <http://industria40.herokuapp.com/>. No *site*, as pessoas deveriam se cadastrar, informando nome, sobrenome, nome da empresa em que trabalha, seu cargo e telefone e *email* para contato.

Uma vez cadastrado, o usuário poderia ler orientações sobre como responder ao questionário, além de ser contextualizado sobre a importância da Indústria 4.0. Ao final do questionário, o usuário recebia uma mensagem de agradecimento, informando sobre a finalização das questões.

Além disso, é importante ressaltar que, em acordo com o que foi encontrado na fase exploratória do trabalho, todos os respondentes responderam à pesquisa com a orientação do autor. Dessa maneira, pôde-se garantir a qualidade das respostas apresentadas, uma vez que os respondentes poderiam ter entendimentos distintos sobre as perguntas, resultando na coleta de dados com pouca confiabilidade e qualidade.

4.2 Métodos Não Estruturados

Para se ter um melhor conhecimento sobre o processo de avaliação e dificuldades, entrevistou-se um especialista da área atuando em uma consultoria especializada em Indústria 4.0. Os resultados da entrevista estão relatados a seguir.

Na percepção do especialista, os estudos de maturidade Indústria 4.0 precisam ser contextualizados à realidade brasileira. Em sua visão, muitos elementos presentes nas empresas brasileiras apontam uma certa precariedade em relação ao observado em outros países, principalmente nos que estão na vanguarda do conhecimento sobre Indústria 4.0. Dessa forma, ele pensa que não é possível empregar uma ferramenta que já está pronta para avaliar uma empresa brasileira de forma direta, uma vez que os resultados não serão coerentes. Baseando-se na sua experiência, o profissional diz que se pode analisar a maturidade de uma empresa em três níveis diferentes. No primeiro nível, a análise não estaria delimitada a uma área específica, mas sim a toda a empresa. Nesse modelo de análise, o que se pode observar no resultado é uma generalização do que é encontrado na empresa. Esse seria um método mais relevante para se ter uma noção de como a empresa está evoluindo de forma mais ampla, mas não é muito relevante para fundamentar ações mais concretas, uma vez que não se pode identificar quais são as áreas e elementos que

necessitam de desenvolvimento. Sendo assim, o próximo nível de análise concentra-se em avaliar unidades fabris ou de produção. Essa maior especificidade na análise e maior delimitação, permite com que a avaliação de maturidade possa ser diferente para cada área avaliada, permitindo com que a empresa tenha mais fundamentos para conseguir desenvolver as competências necessárias de acordo com as suas metas e objetivos. Desse modo, para realizar uma avaliação que tem maior potencial de ajudar as empresas com planejamento futuro, uma abordagem ao nível de unidade de produção é superior a uma abordagem ao nível de empresa. Por fim, se a necessidade é realizar uma avaliação ainda mais detalhada, é possível entrar no detalhe dos processos. Nesse nível, cada unidade fabril analisada tem os seus processos mapeados e avaliados de acordo com as diretrizes da Indústria 4.0. Segundo o especialista, de forma prática, esse é o patamar mais detalhado que faz sentido abordar a avaliação das empresas, uma vez que a abordagem ao nível de máquinas é muito difícil de ser executada.

O profissional garante que é plenamente possível realizar uma avaliação de maturidade através de formulários. Em sua avaliação, uma das competências mais importantes das consultorias que atuam no ramo é saber criar esses formulários, que geralmente são de múltipla escolha para economizar tempo. No processo de consultoria, uma etapa imprescindível da avaliação é a transmissão de conhecimento de forma a habilitar as pessoas que responderão o questionário a respondê-lo. Esse processo passaria por três fases. A primeira seria a sensibilização, etapa em que a importância do tema seria transmitida para aqueles que iriam responder o questionário. Em uma segunda etapa, haveria a capacitação técnica dessas pessoas. Por fim, a entrevista seria realizada. Dessa forma, seria extremamente desaconselhado simplesmente enviar o questionário para quem irá responder, devendo existir um acompanhamento junto com a entrevista. Na experiência do profissional, nesse contexto a avaliação *online* é temerária, porque se deve verificar o que está sendo respondido. Quando indagado sobre a efetividade da aplicação de um único questionário, o especialista indica que pode funcionar, mas não para todas as finalidades. Se o objetivo é a realização de uma pesquisa, segundo ele, poderia ser plenamente suficiente, no entanto, para fazer um planejamento estratégico robusto, seriam necessárias mais referências.

Na perspectiva do profissional, o primeiro elemento que deve ser definido, antes mesmo da concepção do questionário é a escala de avaliação de maturidade que será utilizada. No seu entendimento, deve-se ter um critério bem definido. Dessa forma, o pesquisador consegue se basear nessa gradação para avaliar e mensurar. Na sua prática de consultoria, ele diz que a sua equipe costuma realizar de 5 até 10 perguntas por eixo avaliado. O mais preocupante é constatar que é difícil montar o questionário, no entanto, na concepção do especialista, essa é uma tarefa plenamente possível. Uma boa orientação para se conseguir elaborar o questionário é ter em mente qual é o estado da arte do conceito que se quer avaliar e quais são os níveis que devem ser percorridos para se chegar nesse estado da arte.

Em toda a sua experiência, o profissional cita as três maiores dificuldades que estão relacionadas com esse processo de avaliação da maturidade Indústria 4.0 das empresas. Primeiramente, o nível de conhecimento das pessoas é um grande obstáculo. Essa dificuldade pode afetar diversas etapas da avaliação, sendo a mais preocupante a necessidade de capacitar a pessoa que está respondendo ao questionário acerca dos conceitos da Indústria 4.0, caso contrário, as respostas não serão confiáveis. Outra dificuldade mencionada pelo profissional é que as empresas tratam o tema da Indústria 4.0 como se fosse apenas referente à produção. No entanto, esse não é um assunto unicamente industrial. Segundo o profissional, não é possível implementar a Indústria 4.0 apenas na produção, sendo esse um conceito que obrigatoriamente deve permear toda a empresa. Finalmente, o entrevistado cita um relatório do Fórum Econômico Mundial (FEM) que diz que 70% ou mais dos projetos relacionados às tecnologias da Indústria 4.0 estão nas etapas iniciais ou não conseguem sair da fase embrionária (WORLD ECONOMIC FORUM; MCKINSEY COMPANY, 2018). Desse modo, pode-se concluir que muito dinheiro está sendo jogado fora.

4.3 Análise de Resultados

A pesquisa foi realizada através da aplicação de um questionário virtual elaborado pelo autor com base nos conceitos do índice de maturidade Indústria 4.0 da ACATECH. O questionário compreendeu 64 perguntas, sendo divididas em quatro áreas estruturais. Cada uma das áreas estruturais é composta por dois critérios de avaliação. Uma quantificação das perguntas pode ser vista na tabela 3. As perguntas do questionário podem ser vistas no Apêndice B.

Para facilitar a aplicação da pesquisa, foi desenvolvido um *site*. Nele, pode-se ver em sua página inicial uma explicação sobre a Indústria 4.0 enaltecendo a importância do tema, conforme pode ser visto na figura 5.

Tabela 3 – Quantidade de perguntas por critério avaliado no questionário

Área Estrutural	Critério Avaliado	Número de Perguntas
Recursos	Capacidade Digital	6
Recursos	Comunicação Estruturada	10
Sistemas de Informação	Processamento de Dados	11
Sistemas de Informação	Integração	6
Estrutura Organizacional	Estrutura Interna Orgânica	11
Estrutura Organizacional	Colaboração Dinâmica Dentro da Cadeia de Valor	4
Cultura	Disposição para a Mudança	8
Cultura	Colaboração Social	8

Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 5 – Página inicial do *site*

Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Ao se cadastrar, o usuário deveria fornecer diversas informações, como mostra a figura 6.

Figura 6 – Tela de cadastro do *site*

A imagem mostra uma tela de cadastro com o título "Cadastre-se" em um fundo azul claro. Abaixo do título, há uma grade de campos de entrada com ícones laranja: "Nome.." (ícone de pessoa), "Sobrenome.." (ícone de pessoa), "Nome da empresa.." (ícone de fábrica), "Cargo.." (ícone de pessoa), "Telefone.." (ícone de telefone), "E-mail.." (ícone de envelope), "Username.." (ícone de envelope), "Senha.." (ícone de chave) e "Confirme a senha.." (ícone de chave). Abaixo dos campos, há um botão cinza "Cadastrar" e, no rodapé, o texto "Já é cadastrado? [Log-in](#)".

Cadastre-se

Nome.. Sobrenome..

Nome da empresa.. Cargo..

Telefone.. E-mail..

Username..

Senha..

Confirme a senha..

Cadastrar

Já é cadastrado? [Log-in](#)

Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Uma vez que o usuário estava cadastrado e logado, era mostrada uma tela com as orientações sobre como responder à pesquisa, conforme pode ser visto na figura 7.

Figura 7 – Tela de orientações para preenchimento do questionário

INDÚSTRIA 4.0
OLÁ, GABISKER MEUS QUESTIONÁRIOS LOG OUT

Objetivo:

Identificar o estágio atual de maturidade para, posteriormente, poder servir de base para a criação de um plano de ação que possibilite a empresa a atingir o próximo nível de maturidade na Indústria 4.0.

Estágios de Maturidade

Fonte: SCHUH, G. et al. *Industrie 4.0 Maturity Index*. Acatech. Munich. 2017.

Digitalização: pré-requisito para a Indústria 4.0

- 1. Computadorização:** é o primeiro estágio por ser a base da digitalização. Nesse estágio diversas tecnologias da informação são utilizadas de forma isolada dentro da empresa.
- 2. Conectividade:** a utilização isolada de tecnologias da informação é substituída por sistemas conectados. As aplicações mais importantes da empresa estão todas conectadas entre elas.

Industria 4.0

- 3. Visibilidade:** nesse estágio, sensores permitem que processos sejam capturados do começo ao fim com um número considerável de dados. Isso significa que eventos e estados podem ser gravados em tempo real através da empresa, ultrapassando a limitação de áreas individuais, como células de manufatura. Isso possibilita ter um modelo digital atualizado das áreas produtivas a qualquer momento. Esse modelo é chamado de sombra digital da empresa e, além de ajudar a ver o que está acontecendo na companhia, também é utilizado como base para a tomada de decisões.
- 4. Transparência:** esse estágio permite a empresa a entender por que algo está ocorrendo através de relações de causa e efeito. Para conseguir identificar e interpretar as interações da sombra digital, os dados capturados devem ser analisados através da aplicação de conhecimento de engenharia. Esse processo serve de suporte para a tomada de decisões rápidas e complexas.
- 5. Capacidade Preditiva:** o quinto estágio representa a habilidade da empresa de simular diferentes cenários futuros e as suas probabilidades de acontecerem. Esse processo envolve a projeção da sombra digital da empresa no futuro de modo a representar uma variedade de cenários que podem ser avaliados em termos de quão prováveis eles são de ocorrerem. Dessa forma, a empresa pode antecipar eventos futuros, tomando e implementando medidas necessárias em tempo hábil.
- 6. Adaptabilidade:** o último estágio significa que a empresa consegue utilizar a sua sombra digital para tomar decisões que terão o melhor resultado possível no menor prazo possível e implementar essas decisões automaticamente, sem a interferência de pessoas.

Na figura abaixo estão representados os níveis de maturidade da Indústria 4.0:

Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Uma vez que o usuário decidia responder à pesquisa, uma tela pedia diversas informações, como o nome da empresa, o número de funcionários, o faturamento anual, área objeto do estudo, o setor de atuação da empresa, o nome do funcionário e o cargo do funcionário, como pode ser visto na figura 8.

Figura 8 – Informações pedidas ao usuário no início do preenchimento do questionário

The image shows a digital questionnaire form with a light blue background. At the top, the title 'Questionário' is displayed in a large, bold, black font. Below the title, the label 'Nome da Empresa*' is positioned above a white text input field containing the placeholder 'Empresa..'. Underneath, there are two fields: 'Num. Funcionários*' with a dropdown menu showing 'Até 19' and a downward arrow, and 'Faturamento Anual(Opcional)' with a dropdown menu showing '-----' and a downward arrow. Below these, the label 'Área Objeto de Estudo (Sobre qual área da empresa será respondido o questionário? Ou será sobre a empresa como um todo?)*' is above a white text input field containing '---'. At the bottom, there are three input fields: 'Setor*' with placeholder 'Setor..', 'Nome do Funcionário*' with placeholder 'Funcionário..', and 'Cargo*' with placeholder 'Cargo..'. A large blue button with a white icon of three stacked squares and the text 'Começar Questionário' is centered at the bottom of the form.

Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Após o preenchimento dessas informações iniciais, o usuário poderia finalmente ver as perguntas e respondê-las, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 – Tela inicial do questionário para o preenchimento das respostas

Recursos (1/4)

Recursos Sistemas de Informação Estrutura Organizacional Cultura

Capacidade Digital

No dia a dia, a empresa está focada em automação para que os funcionários utilizem mais as suas habilidades criativas e de tomada de decisão.

Discordo totalmente Discordo parcialmente Nem discordo nem concordo Concordo parcialmente Concordo totalmente

N/A

Colaboradores que tomam decisão podem manipular dados relevantes para servir de apoio às decisões (acesso à bancos de dados, planilhas ou similares).

Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Todas as perguntas do questionário deveriam ser respondidas segundo a escala Likert representada na figura 10.

Figura 10 – Escala Likert utilizada no questionário

Discordo Totalmente Discordo parcialmente Nem concordo e nem discordo Concordo parcialmente Concordo totalmente Não sei responder

Fonte: elaborado pelo autor (2021)

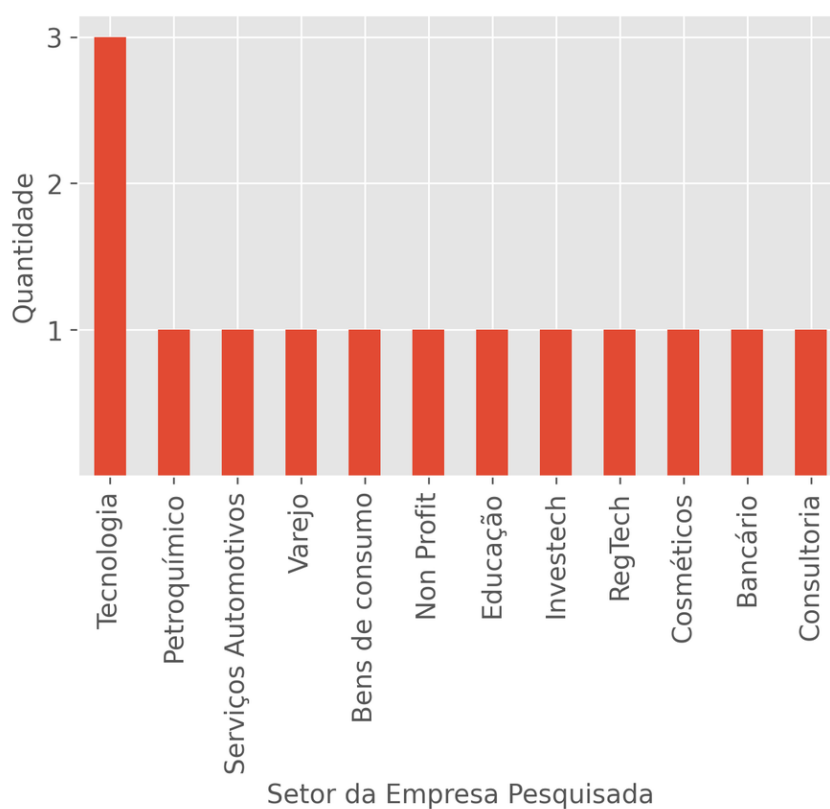
Foram entrevistadas 14 pessoas, no formato de pesquisa guiada, em que o autor auxiliou os funcionários a responderem às perguntas. Ao todo, foram coletadas informações sobre 13 empresas, uma vez que dois funcionários responderam sobre áreas distintas de uma única empresa.

As pesquisas levaram entre 45 minutos e 1 hora e 30 minutos para serem respondidas, sendo que a maior parte delas levou cerca de 1 hora. As pesquisas foram feitas entre abril e junho de 2021.

Para análise dos dados, as informações foram baixadas do servidor e posteriormente analisadas com o *python*.

Os setores das empresas avaliadas podem ser observados no gráfico 1.

Gráfico 1 – Quantidades de empresas pesquisadas por setor

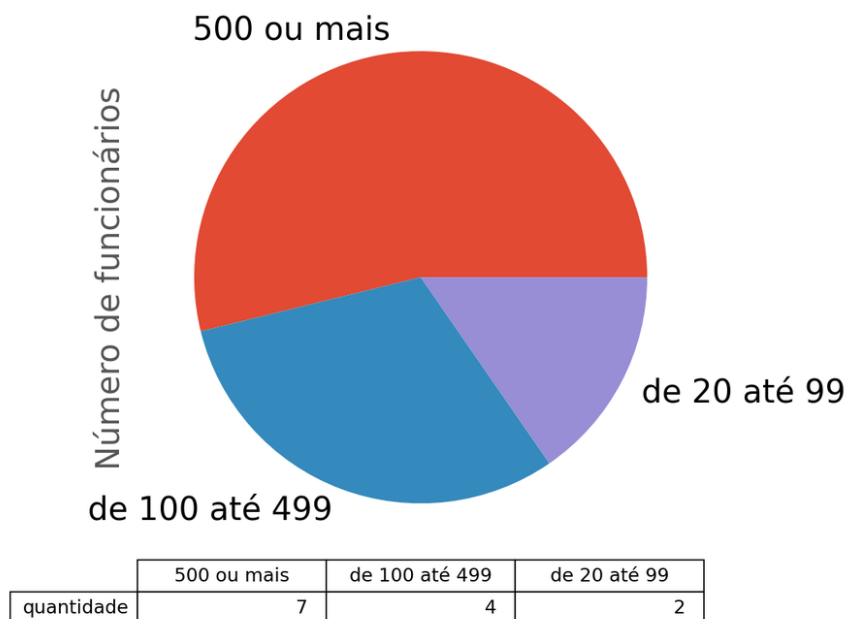


Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Os cargos dos respondentes foram os mais variados, como analista de investimentos, gestor de TI, analista de redes, diretor de produção, estagiário, coordenador geral, consultor, supervisor de logística, sócio executivo, diretor de serviços e trainee.

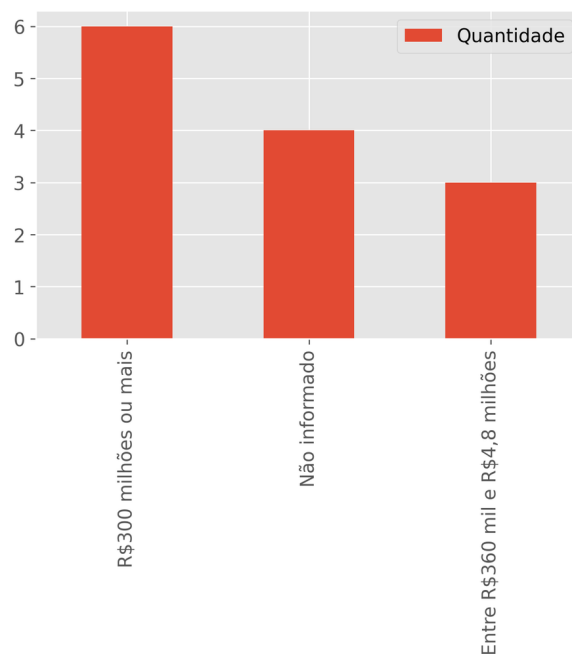
O porte das empresas, de acordo com o número de funcionários e receitas podem ser visto nos gráficos 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 2 – Número de funcionários por empresa pesquisada



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Gráfico 3 – Quantidade de empresas por faixa de receita



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

As maturidades das empresas foram calculadas da seguinte maneira. Primeiro as respostas na escala Likert foram convertidas para números. Para as respostas “discordo totalmente”, o valor atribuído foi 1. Para “discordo parcialmente”, o valor considerado foi 2. Para “nem concordo e nem discordo” o equivalente numérico foi 3. As afirmativas assinaladas com “concordo parcialmente” foram consideradas com o valor numérico 4. Por

fim, o maior grau de concordância, o “concordo totalmente”, foi convertido para o número 5. As respostas que não se aplicaram (N/A) foram desconsideradas no cálculo.

É importante ressaltar que o grau de concordância com uma afirmativa é um dado inicialmente qualitativo. Com a ajuda da escala Likert empregada, pôde-se converter esse dado qualitativo em um dado quantitativo de forma a empregar métodos de análise estatística para tecer conclusões sobre a amostra. Esse processo está de acordo com o que foi explicitado no capítulo 2.3. Pode-se dizer que o grau de concordância com uma afirmativa pode ser ordenado e tratado de forma quantitativa.

Dessa maneira, para cada critério, calculou-se uma média das respostas para construir um gráfico de radar. Foi feita uma transformação linear no resultado obtido para transformar as respostas em uma escala de 1 até 5 em uma escala de 1 até 6. De acordo com a seguinte fórmula:

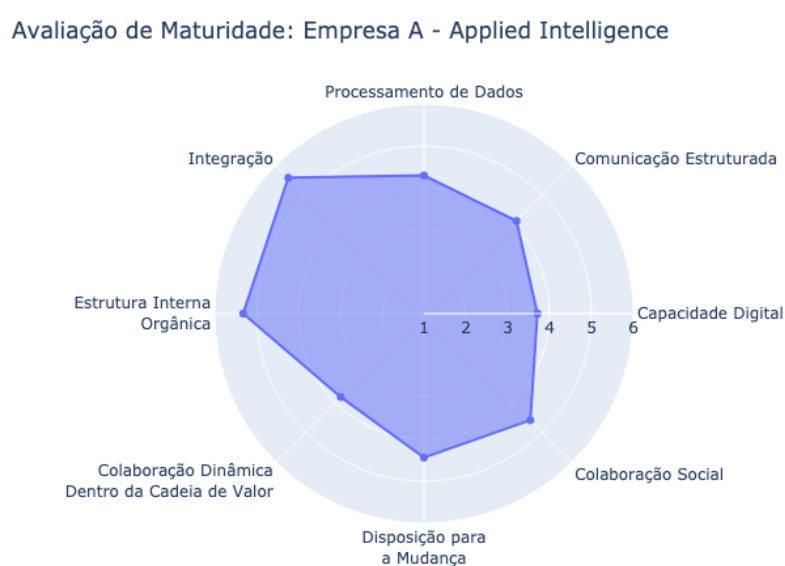
$$\text{pontuação final} = \text{pontuação antes da transformação} * \frac{5}{4} - \frac{1}{4}$$

Em outras palavras, caso um respondente concordasse totalmente com todas as afirmativas, ele estaria classificado no último estágio de maturidade (6). Em contrapartida, caso assinalasse “discordo totalmente” em todas as respostas, estaria classificado no primeiro nível (1).

Os resultados das análises podem ser vistos nas figuras 11-24.

Desse modo, é possível identificar qual das áreas estruturais está em um nível mais baixo do que as demais e, então, pode-se elaborar um plano para melhorar as maiores deficiências da empresa primeiro.

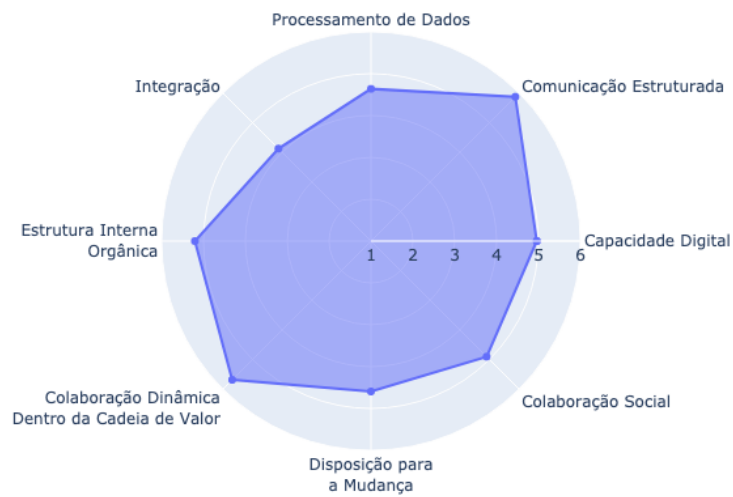
Figura 11 – Avaliação de Maturidade: Empresa A - Inteligência Aplicada



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 12 – Avaliação de Maturidade: Empresa A - Consultoria

Avaliação de Maturidade: Empresa A - Consultoria



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 13 – Avaliação de Maturidade: Empresa B - Logística

Avaliação de Maturidade: Empresa B - Logística



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 14 – Avaliação de Maturidade: Empresa C - Empresa Toda

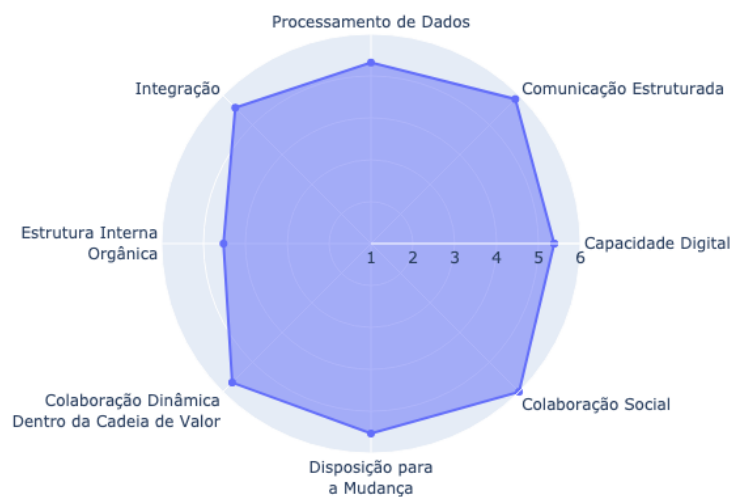
Avaliação de Maturidade: Empresa C - Empresa Toda



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 15 – Avaliação de Maturidade: Empresa D - Tecnologia

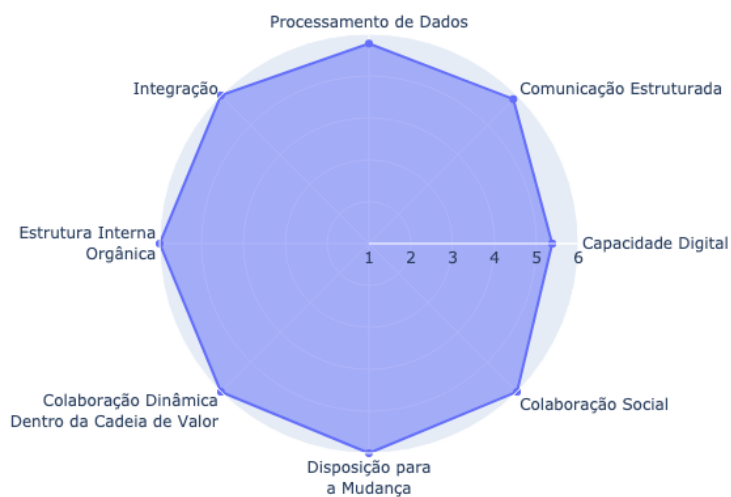
Avaliação de Maturidade: Empresa D - Tecnologia



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 16 – Avaliação de Maturidade: Empresa E - Vendas

Avaliação de Maturidade: Empresa E - Vendas



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

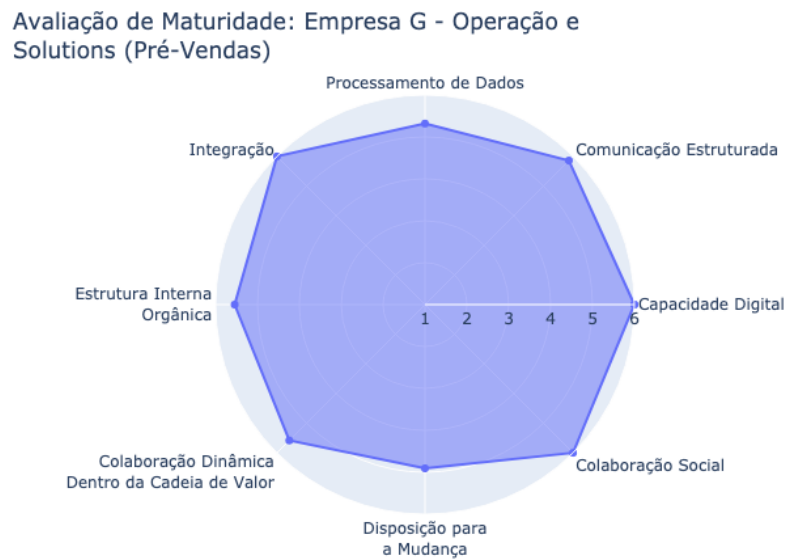
Figura 17 – Avaliação de Maturidade: Empresa F - Rede Afiliada

Avaliação de Maturidade: Empresa F - Rede Afiliada



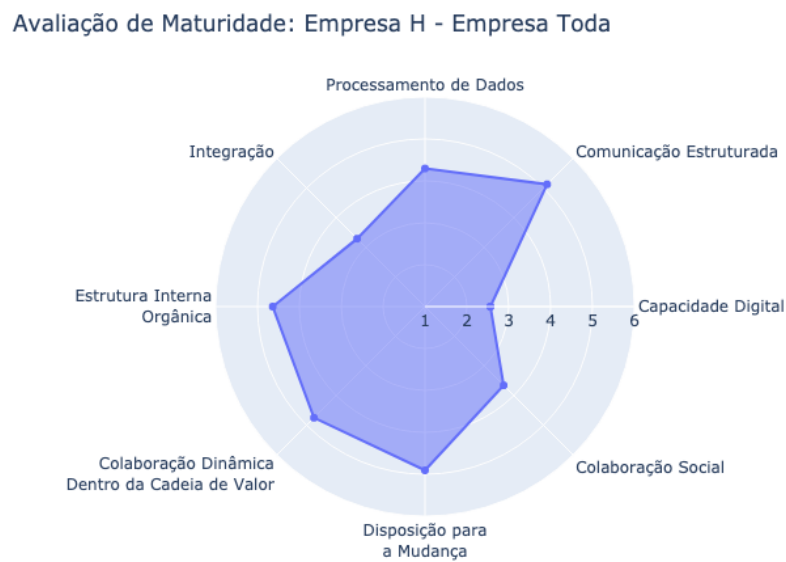
Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 18 – Avaliação de Maturidade: Empresa G - Operação e Solutions (Pré-Vendas)



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

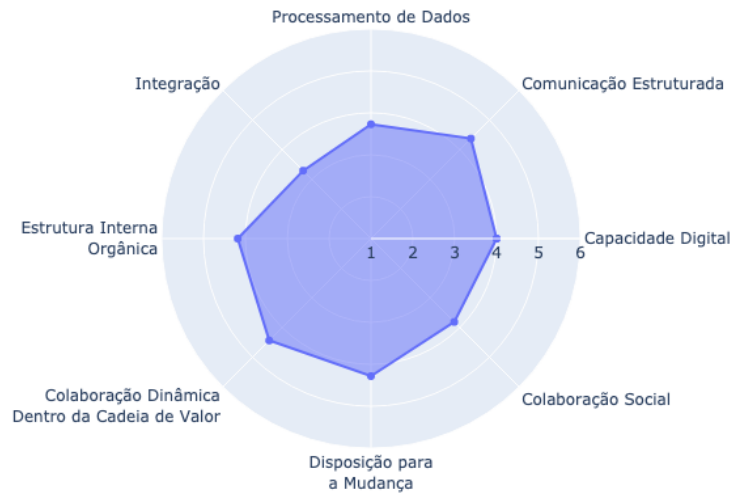
Figura 19 – Avaliação de Maturidade: Empresa H - Empresa Toda



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 20 – Avaliação de Maturidade: Empresa I - Investimentos

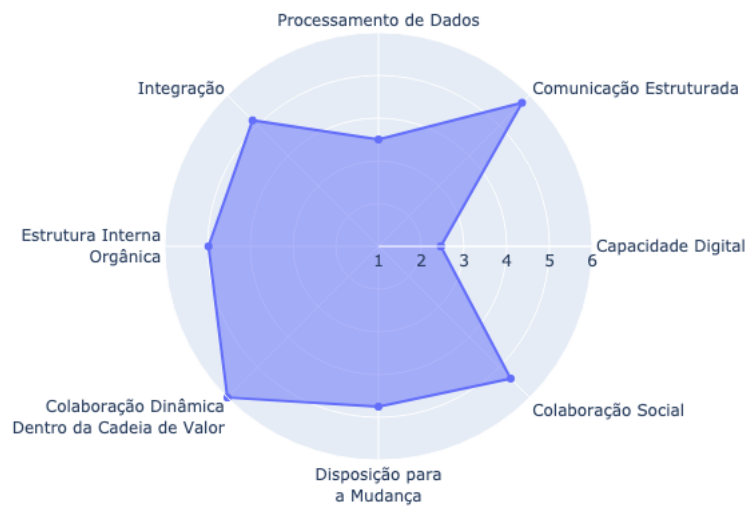
Avaliação de Maturidade: Empresa I - Investimentos



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 21 – Avaliação de Maturidade: Empresa J - Serviços

Avaliação de Maturidade: Empresa J - Serviços



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 22 – Avaliação de Maturidade: Empresa K - Produção

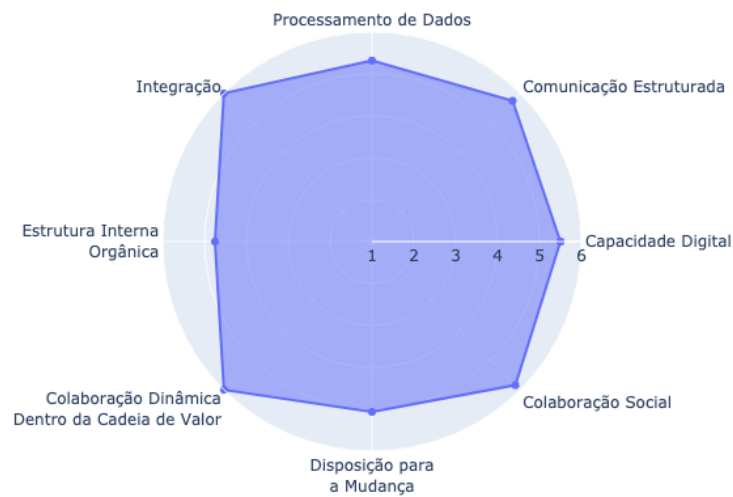
Avaliação de Maturidade: Empresa K - Produção



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 23 – Avaliação de Maturidade: Empresa L - Infraestrutura de Redes

Avaliação de Maturidade: Empresa L - Infraestrutura de Redes



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Figura 24 – Avaliação de Maturidade: Empresa M - Vendas

Avaliação de Maturidade: Empresa M - Vendas



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

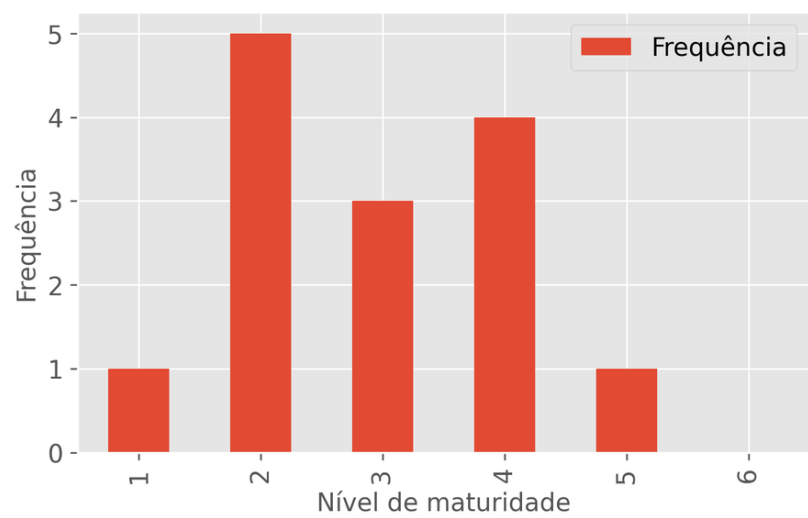
Para o cálculo do índice de maturidade da empresa, a seguinte fórmula foi utilizada:

$$\text{int}(\min_{\forall i \in S} \text{avaliação}(i))$$

S = conjunto de avaliações dos critérios da empresa

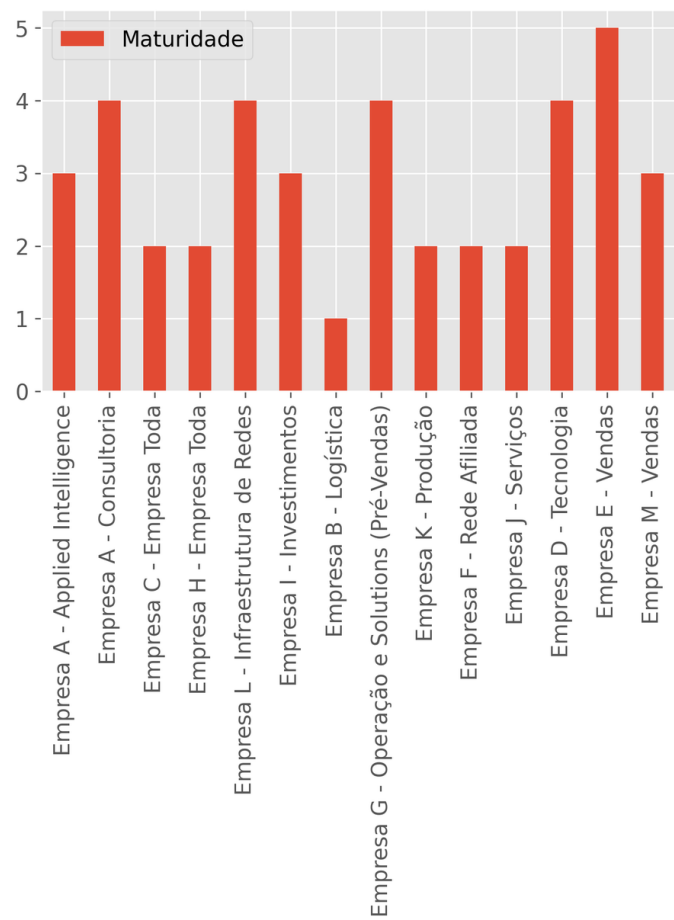
Dessa forma, o índice de maturidade da empresa é calculado como sendo a parte inteira do critério com pior avaliação. Um gráfico com as frequências das maturidades observadas pode ser visto no gráfico 4. Um gráfico com o índice de maturidade das empresas avaliadas pode ser visto no gráfico 5.

Gráfico 4 – Frequência dos níveis de maturidade



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Gráfico 5 – Nível de maturidade por empresa



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Pode-se concluir que 1 empresa observada encontra-se no nível da digitalização e 5 empresas encontram-se no estágio de conectividade. Pode-se dizer, portanto, que essas empresas nem sequer entraram na Indústria 4.0. Além disso, observou-se que 3 empresas estão no nível da visibilidade, 4 empresas estão no nível da transparência e apenas 1 empresa está no nível da capacidade preditiva. A empresa A, que foi analisada sob a perspectiva de duas áreas diferentes, foi classificada em uma área no nível da Visibilidade e na outra no estágio da Transparência. Nenhuma empresa se encontra no estágio de adaptabilidade. Uma observação interessante é que todas as empresas que tiveram uma avaliação de no mínimo 4 (transparência) são empresas que estão intimamente ligadas com tecnologia.

Em seguida, podem ser vistos comentários acerca da realização do trabalho, do objetivo geral e dos objetivos específicos.

Com a análise das principais publicações pôde-se entender em que contexto a Indústria 4.0 se desenvolveu e em que estágio o mundo está nessa Quarta Revolução Industrial. Apesar de não haver uma única definição para o que de fato é Indústria 4.0, muitos conceitos foram revisados e tendo como base a instituição que criou o termo como referência, foram expostas as principais características de uma empresa que segue o paradigma de produção da Indústria 4.0. Além disso, no referencial teórico, também foi possível aprofundar o que as práticas de produção da Indústria 4.0 podem resultar na vantagem competitiva da empresa e, como consequência, a sua longevidade. Sendo um tema muito relevante, há muito na literatura escrito sobre as tecnologias e práticas da Indústria 4.0, não obstante, deve-se ressaltar que ainda há muito espaço para o desenvolvimento das pesquisas sobre o tema. Esse trabalho elucidou alguns pontos sobre a Indústria 4.0, mas de forma alguma as informações aqui expostas pretendem esgotar o tema.

Durante a elaboração e condução da pesquisa, observou-se na literatura diversos meios de se avaliar a maturidade Indústria 4.0 de uma empresa. Muitos métodos, conforme o que foi exposto, diferem entre si. Alguns são específicos, podendo ser aplicados apenas em algum contexto muito limitado e outros são genéricos, necessitando a análise de algum agente externo. Sendo a ACATECH uma instituição referência no tema, escolheu-se o modelo de maturidade elaborado por essa instituição. No referencial teórico, foram expostas as principais características desse modelo. Além disso, no Apêndice A, pôde-se verificar quais são as características da Indústria 4.0 que são as mais importantes para cada uma das áreas estruturais que devem ser analisadas. Por fim, ainda se explorou diversas críticas que podem ser feitas em relação aos modelos de maturidade e também em relação ao modelo da ACATECH. Dentre essas críticas, as mais importantes que foram expostas são a dificuldade de aplicação do modelo para as pequenas e médias empresas, que apresentam uma realidade distinta das empresas maiores, e o foco em manufatura do modelo de avaliação da ACATECH. **Desse modo, o objetivo de expor o modelo de maturidade a**

ser seguido foi cumprido.

Conforme o exposto, o modelo de maturidade foi aplicado em 13 empresas. Apesar de a amostra analisada ser pequena em relação ao universo de empresas que podem ser avaliadas, o exercício exploratório e descritivo foi suficiente para trazer mais informações sobre o tema pesquisado. As empresas analisadas são diversas, pertencendo a diferentes setores e atuando em mercados com dinâmicas muito distintas. Dessa forma, essa diversidade contribuiu para a realização de uma análise que, apesar de limitada, conseguiu englobar diversas frentes, resultando em observações relevantes sobre o tema. Consequentemente, o trabalho, além de contribuir significativamente sobre o processo de avaliação, também pode servir de base para outros estudos que queiram ampliar a avaliação da maturidade de empresas em relação à Indústria 4.0, principalmente no tocante à realidade brasileira. Conforme foi exposto, o Brasil ainda tem muito a se desenvolver quando o assunto é Indústria 4.0 e quanto mais pesquisas forem feitas sobre o tema, será melhor para o desenvolvimento das empresas brasileiras. Pode-se dizer, ainda, que o tema tem especial importância em um contexto em que um fortalecimento da indústria brasileira seria especialmente benéfico para o país.

Conforme o exposto no capítulo 5, o processo de desenvolvimento do questionário e sua aplicação apresentaram diversas dificuldades que não foram previstas no início do desenvolvimento do presente trabalho. Cada desafio que surgiu no decorrer da pesquisa, serviu como base para lições valiosas que puderam ser identificadas acerca das dificuldades, limitações e benefícios da aplicação do questionário. Observações sobre as limitações de cada tipo de questionário, bem como sobre como conduzir o questionário e as limitações de certos tipos de aplicação foram documentadas. Além disso, foi possível realizar uma discussão sobre a necessidade de profissionais para conseguir capturar de forma efetiva o momento vivido pela empresa para então conseguir elaborar um plano de ação mais robusto. **Dessa forma, pode-se dizer que o objetivo de discussão acerca do processo de aplicação do questionário foi atingido.**

Demonstrou-se que, após o preenchimento do questionário, é possível analisar a maturidade da empresa de acordo com os critérios estabelecidos pelo estudo da ACATECH. Nesse contexto, é possível identificar qual eixo de avaliação é o mais deficitário. Ainda que se observou a necessidade de ajuda ao respondente durante o preenchimento do questionário, o método utilizado conseguiu entregar o resultado desejado da avaliação. Após o preenchimento do questionário, a análise dos dados explicita o índice de maturidade geral da área da empresa avaliada, bem como a pontuação dos critérios individuais. Ainda que essa não seja uma avaliação exaustiva, é um bom começo para a empresa conseguir se situar no mundo da Indústria 4.0. Aliado a isso, também será importante que a empresa busque por conta própria ou com ajuda de terceiros conhecimentos sobre o tema. Além do conhecimento, investimento nas tecnologias relevantes, como CPS, IoT, *Machine Learning* e outros, são essenciais para a evolução das empresas frente à Indústria 4.0. **Em vista do**

exposto, pode-se concluir que o objetivo geral do trabalho foi atingido.

Um fato relevante observado durante a pesquisa é que as empresas avaliadas estão ainda muito longe do estágio final de maturidade na Indústria 4.0. Nota-se que a maior parte das grandes empresas já passou por algum nível razoável de digitalização, no entanto, ainda em grandes empresas, observa-se que há problemas no estágio de conectividade, porque muitas vezes os sistemas da empresa não estão todos conectados. Dessa forma, para essas empresas, não se pode dizer que estão em um estágio da Indústria 4.0. Para as que já conseguiram uma boa digitalização e conectividade dos sistemas, verifica-se uma grande dificuldade na parte de análise. Nesse contexto, pode-se relacionar o observado com a corrida das empresas por tecnologias de processamento de dados como *Machine Learning*. Nas companhias estudadas, ainda que algumas dominassem meios de realizar simulações de cenários futuros, a realidade encontrada na pesquisa ainda está muito aquém do proposto pelas práticas da Indústria 4.0. Outra observação relevante notada, é que a afirmação mais discordada foi “Usuários e sistemas podem interagir através de realidade aumentada, virtual, voz ou gestos.”, indicando a dificuldade de muitas empresas em adotar tecnologias mais modernas nos seus meios produtivos. Em contrapartida, a afirmação mais aceita foi “A companhia determina como ela pode contribuir para satisfazer a necessidade do consumidor final, mesmo que ela não venda diretamente para o cliente.”, evidenciando uma forte postura de centralidade no cliente.

Conforme explicado acima, é importante, portanto, que seja possível de alguma maneira avaliar a maturidade da empresa em relação aos paradigmas de produção da Indústria 4.0. Essa, porém, é uma tarefa que não é trivial, uma vez que os conceitos da Indústria 4.0 não são padronizados e não há uma única maneira de se fazer essa avaliação. Muitas vezes, inclusive, para realizar essa análise, é necessária a contratação de serviços externos. Vê-se, pois, que nesse contexto, o presente trabalho buscou examinar uma forma de se avaliar a maturidade Indústria 4.0 de organizações. É preciso ressaltar que o que foi exposto é um método genérico para se realizar a avaliação da maturidade Indústria 4.0 de uma empresa, infelizmente, não há nenhum método na literatura que seja considerado como a referência absoluta. Por final, é necessário ressaltar a relevância que esse tema detém no contexto mundial, uma vez que no ambiente globalizado e competitivo em que o mundo se encontra, achar uma maneira que facilite a adoção das práticas da Indústria 4.0 será um fator chave no sucesso das empresas.

5 DISCUSSÃO

Conforme verificado na literatura, a utilização de modelos para avaliação da maturidade Indústria 4.0 de uma empresa está restrita aos modelos específicos ou aos modelos genéricos, que requerem a ajuda de alguma consultoria para serem aplicados. Dessa forma, a avaliação da maturidade das empresas fica mais restrita a um grupo reduzido de empresas. A finalidade do trabalho era discutir sobre a possibilidade de utilização de um questionário para avaliação do nível de maturidade Indústria 4.0 de uma organização. A suposição era que com apenas um questionário aplicado a um funcionário, de uma forma relativamente padronizada, poder-se-ia chegar a uma conclusão sobre o nível de maturidade de uma área específica da empresa. Dessa maneira, o processo de avaliação seria facilitado, dando a possibilidade de mais empresas conhecerem o seu nível de maturidade para poderem evoluir e chegar ao próximo passo, melhorando, então, o seu nível de competitividade.

Segundo Schuh *et al.* (2017), as empresas estão enfrentando cenários cada vez mais competitivos e, para que elas possam sobreviver no longo prazo, terão que se adequar aos conceitos da Indústria 4.0 para acelerarem os processos de tomada de decisão corporativa e os processos de adaptação. Nesse contexto, os autores deixam claro que a avaliação da maturidade é uma ferramenta importantíssima para as empresas e a sua realização pode ser feita ao se seguir um método definido. Dessa forma, com base no que foi exposto pelos autores, ao seguir o seu método, seria possível realizar a medição do nível de maturidade de uma corporação. No entanto, Schuh *et al.* (2017) apenas expõe conceitos, apresentando um método de avaliação genérico que deve ser adaptado para se conseguir aplicar em uma empresa. O presente trabalho tratou de traduzir essa metodologia em um questionário padronizado e aplicá-lo de forma a analisar a sua efetividade.

O objetivo de propor um método foi atingido, porque com base no estudo delineado pela ACATECH, pôde-se desenvolver um questionário concreto que pôde ser aplicado em empresas. Através da interpretação das respostas segundo os conceitos expostos no estudo da ACATECH, pôde-se chegar a uma avaliação da maturidade Indústria 4.0 das empresas que responderam ao questionário.

Vale destacar, por exemplo, que o questionário desenvolvido é genérico, podendo ser aplicado para qualquer empresa e não necessita necessariamente de um especialista para interpretação, no entanto, é necessário suporte para a organização na fase de preenchimento do questionário. Por esse motivo, conforme explicado acima, Jesus e Lima (2020) dizem que os modelos de maturidade genéricos precisam ter pelo menos parte do processo de avaliação conduzido por uma consultoria ou avaliador externo.

Observou-se que o nível de conhecimento da pessoa que está respondendo o questionário é um fator determinante sobre a qualidade das respostas obtidas. Então, muitas vezes, se o respondente não tem um conhecimento mais profundo sobre Indústria 4.0, ele não vai compreender de forma clara a que conceito a pergunta está se referindo. Muitas

vezes, inclusive, a pessoa acha que a pergunta está se referindo a um conceito muito mais simples do que o que de fato a pergunta está indicando, simplesmente porque o respondente não tem conhecimento profundo sobre o assunto. Isso ocorre, porque a Indústria 4.0, em seu estágio de máxima realização, é um paradigma que às vezes está muito além da realidade que a maior parte das pessoas vivencia em seu trabalho. Além disso, é difícil um respondente conseguir se contextualizar de forma independente em um questionário genérico. O indivíduo responderá um questionário que serve para qualquer empresa e, muitas vezes, estará atuando em uma área específica de uma organização. Então, constatou-se que há uma grande barreira para uma pessoa responder um questionário genérico, que serve para qualquer empresa, dos mais variados setores e tamanhos, sozinha. Se a pessoa é da área de vendas, por exemplo, e ela está respondendo a uma pergunta que se refere à produção, talvez faça com que ela fique em dúvida. Mesmo havendo a opção de marcar que a pergunta não se aplica, a leitura da pergunta pode deixar a pessoa confusa, especialmente se a pergunta se referir a conceitos de uma área que o respondente não atue ou conheça. O que se observou, na realidade, é que as pesquisas tiveram que ser feitas no formato de “entrevista guiada”. Nesse formato, por mais que o questionário tenha perguntas padronizadas e com respostas fechadas, o aplicador tem a oportunidade de explicar para a pessoa o que significava cada pergunta, sanar as dúvidas, e contextualizar a pergunta para a realidade do respondente, dando exemplos e facilitando o entendimento da pessoa.

Dessa maneira, observou-se que não seria possível apresentar um questionário para uma pessoa que não tem conhecimento sobre Indústria 4.0 e esperar que as respostas teriam a qualidade necessária para realizar a avaliação. Por esse motivo, observa-se que o movimento para a Indústria 4.0, no Brasil, ainda tem muito a se desenvolver e com essa evolução, naturalmente as pessoas passarão a ter mais conhecimento sobre Indústria 4.0. Segundo Arbix *et al.* (2017, p. 32), “Em países como o Brasil, que estão distantes das fronteiras do conhecimento e carentes de tecnologia, é fundamental a manutenção de um fluxo constante de investimento em p&d como forma de contrabalançar a menor participação do investimento privado.”.

Um dos objetivos do trabalho era aprimorar o conhecimento sobre indústria 4.0, principalmente o conhecimento mais pragmático. Esse objetivo foi alcançado através de duas vias. Na primeira, o conhecimento prático veio da conversão dos princípios básicos da Plataforma Indústria 4.0 em um questionário concreto que pudesse ser aplicado. Na segunda, gerou-se um conhecimento novo ao realizar uma pesquisa na bibliografia e procurar fontes alternativas de informação, como a entrevista com especialista, que agregou muito conhecimento a partir da experiência do profissional durante a sua prática de consultoria. No entanto, as principais contribuições foram as reflexões originadas durante a aplicação do questionário com diferentes pessoas de diferentes antecedentes. Conforme os entrevistados foram respondendo ao questionário, o autor conversava com os respondentes sobre particularidades da Indústria 4.0 relacionadas ao setor do entrevistado. Além disso,

os respondentes contavam durante o preenchimento do questionário sobre a realidade vivida por eles na empresa, o que também foi fonte de diversos dados para reflexão. Esse conhecimento e estudo podem servir de base para pesquisas futuras que queiram aprimorar métodos sobre avaliação de maturidade Indústria 4.0. A pesquisa feita com algumas empresas também pode servir de base para estudos maiores que queiram explorar alguma particularidade descrita no presente relatório.

O Brasil está muito atrasado em relação a outros países quando o assunto é preparo para desenvolver e cultivar a Indústria 4.0 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016). Pesquisas como essa ou mesmo que tenham outra abordagem ou tema, mas com o foco em Indústria 4.0, serão muito importantes para a melhoria da competitividade do Brasil. Diante disso, pode-se afirmar que é muito importante para o Brasil que mais investimento, sejam eles públicos ou privados, em pesquisa e em tecnologia sejam feitos. Somente com esse foco a indústria brasileira poderá estar melhor preparada para os desafios do futuro e será, então, capaz de competir em tempos de Quarta Revolução Industrial.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho permitiu a análise dos conceitos da Indústria 4.0, compreendendo como funciona o processo de avaliação da maturidade de corporações frente ao paradigma de produção da Indústria 4.0. Além disso, o trabalho possibilitou a análise da maturidade de um grupo seletivo de empresas. Finalmente, a principal contribuição do trabalho foi a compreensão das maiores dificuldades em se avaliar a maturidade Indústria 4.0 através de questionários.

De modo geral, foi possível elaborar um questionário genérico para avaliação da maturidade Indústria 4.0 que pode servir de base para a criação de um plano de evolução para a empresa. O questionário foi aplicado em diversas organizações, mostrando as principais dificuldades dessas firmas em estarem alinhadas com a Indústria 4.0, especialmente nas companhias que não estão intimamente ligadas com tecnologia. Observou-se que cerca de 43% das empresas avaliadas ainda não atingiram o primeiro estágio de maturidade que é de fato pertencente à Indústria 4.0, e das que estão na Indústria 4.0, cerca de 88% ainda estão nos estágios iniciais. Além disso, observou-se que é plenamente possível avaliar a maturidade das organizações com questionários, visto que alguns cuidados devem ser tomados, principalmente na etapa de preenchimento do questionário, que, para melhores resultados, deve ser supervisionada.

Sendo assim, o objetivo geral do presente trabalho foi atingido, frente ao desenvolvimento e aplicação do questionário. Os objetivos específicos também foram atingidos, na medida em que houve um aprofundamento no modelo de maturidade escolhido e uma ampla discussão sobre o processo de aplicação do questionário.

A pesquisa teórica possibilitou o aprofundamento na literatura, principalmente em relação aos conceitos de Indústria 4.0 e modelos de avaliação de maturidade. Além de servirem para fundamentar o trabalho, também foram fontes de informações relevantes dos acertos e erros de outros autores frente ao desenvolvimento de modelos de maturidade.

A entrevista com especialista foi importantíssima para ampliar a visão do tema e entender como, na prática, os conceitos resgatados na literatura, principalmente em relação à avaliação de maturidade, funcionam. Essa entrevista, aliada às outras que foram executadas, foram fatores determinantes para se validar o modelo de questionário proposto.

O *site* foi uma ferramenta muito útil e facilitadora para a aplicação do questionário. Esse processo de coleta de informações foi crucial para poder avaliar a maturidade Indústria 4.0 de algumas empresas e poder descrever os resultados. Ademais, toda essa sucessão de eventos foi significativa na construção da discussão sobre a aplicação do questionário.

Diante da importância do tema, torna-se essencial o desenvolvimento de mais trabalhos na área da Indústria 4.0, especialmente em relação à avaliação de maturidade das empresas. Um possível próximo passo seria realizar uma análise mais técnica e sistemática sobre algum setor da indústria brasileira.

Pode-se concluir dizendo que o presente trabalho propõe uma ferramenta para avaliação da maturidade Indústria 4.0 de empresas. Com a ferramenta aqui exposta, pode-se avaliar as competências e fraquezas de uma empresa frente ao paradigma de produção da Indústria 4.0. Dessa maneira a empresa pode trabalhar no critério com menor pontuação para aumentar a sua vantagem competitiva e aumentar a sua possibilidade de sobrevivência no longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, I. E.; SEAMAN, C. A. **Likert Scales and Data Analyses**. 2007. Disponível em: <http://rube.asq.org/quality-progress/2007/07/statistics/likert-scales-and-data-analyses.html>. Acesso em: 25 abr. 2021.
- ARAÚJO, C. C. S. de; PEDRON, C. D.; BITENCOURT, C. Identifying and assessing the scales of dynamic capabilities: a systematic literature review. **Revista de Gestão**, v. 25, n. 4, p. 390 – 412, 2018.
- ARBIX, G. *et al.* O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos Estudos**, São Paulo, v. 36, n. 109, p. 29 – 49, Novembro 2017.
- CAMPOS, J. de P.; GUIMARÃES, S. **Em Busca da Eficácia em Treinamento**. São Paulo: Associação Brasileira de Treinamento e Desenvolvimento, 2009.
- CULOT, G. *et al.* Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. **International Journal of Production Economics**, v. 226, 2020. ISSN 0925-5273. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527320300050>.
- FEIJÓ, A. M.; VICENTE, E. F. R.; PETRI, S. M. O Uso das Escalas Likert nas Pesquisas de Contabilidade. **Revista Gestão Organizacional**, Santa Catarina, p. 27 – 41, Março 2020.
- FONSECA, J. J. S. Metodologia da Pesquisa Científica. 2002. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2021.
- GARTNER. **From the Gartner IT glossary: what is big data?** 2016. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. **MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA SOCIAL**. 6ª. ed. [S.l.]: Atlas, 2008.
- IBM CLOUD EDUCATION. **Machine Learning**. 2020. Disponível em: <https://www.ibm.com/cloud/learn/machine-learning>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **Overview of the Internet of things**. [S.l.], 2012.
- JERMSITTIPARSERT, K. Leadership and Industry 4.0 As A Tool to Enhance Organization Performance: Direct and Indirect Role of Job Satisfaction, Competitive Advantage and Business Sustainability. In: JERMSITTIPARSERT, K. (Ed.). **Agile Business Leadership Methods For Industry 4.0**. Bingley: Emerald, 2020.
- JESUS, C. de; 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, 2020. ISSN 2076-3417. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/5825>.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. [S.l.], 2013.

- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5^a. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- LAMPROPOULOS, G.; SIAKAS, K.; ANASTASIADIS, T. Internet of Things in the Context of Industry 4.0: An Overview. **International Journal of Entrepreneurial Knowledge**, v. 7, n. 1, p. 4 – 19, 2019.
- LUCIAN, R. Repensando o uso da escala Likert: tradição ou escolha técnica? **Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia**, São Paulo, p. 12 – 28, Janeiro-Abril 2016.
- MARKETS AND MARKETS. **Industry 4.0 Market by Technology (Industrial Robots, Blockchain, Industrial Sensors, Industrial 3D Printing, Machine Vision, HMI, AI in Manufacturing, Digital Twin, AGV's, Machine Condition Monitoring) and Geography - Global Forecast to 2026**. 2021. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industry-4-market-102536746.html>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- MINAYO, M. C. de S. Ciência, Técnica e Arte: O Desafio da Pesquisa Social. In: MINAYO, M. C. de S. (Ed.). **Pesquisa Social**. Petrópolis: Vozes, 1994. cap. 1, p. 9 – 29.
- MITTAL, S. *et al.* A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of Manufacturing Systems**, n. 49, p. 194 – 214, 2018.
- ONGSULEE, P. Artificial intelligence, machine learning and deep learning. In: **2017 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT KE)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1 – 6.
- ROBU, M. THE DYNAMIC AND IMPORTANCE OF SMES IN ECONOMY. **The USV Annals of Economics and Public Administration**, v. 13, n. 1(17), p. 84 – 89, 2013.
- SACOMANO, J. B. *et al.* **Indústria 4.0**. 1. ed. [S.l.]: Blucher, 2018.
- SCHUH, G. *et al.* **Industrie 4.0 Maturity Index**. Munich, 2017.
- SEBRAE-NA/DIEESE. **Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa**. 2012. Disponível em: www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf. Acesso em: 19 mar. 2021.
- SONY, M.; NAIK, S. Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. **Benchmarking: An International Journal**, v. 27, n. 7, p. 2213 – 2232, 2020.
- SOUZA, G. S. de; SANTOS, A. R. dos; DIAS, V. B. **METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA a construção do conhecimento e do pensamento científico no processo de aprendizagem**. Porto Alegre: Animal, 2013.
- WADHWA, R. S. Flexibility in manufacturing automation: A living lab case study of Norwegian metalcasting SMEs. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 31, n. 4, p. 444 – 454, 2012. ISSN 0278-6125. Selected Papers of 40th North American Manufacturing Research Conference. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612512000593>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Report 2016-2017**. Geneva, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM; MCKINSEY COMPANY. **The Next Economic Growth Engine: Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production**. 2018. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Technology_and_Innovation_The_Next_Economic_Growth_Engine.pdf. Acesso em: 5 jul. 2021.

WORTMANN, F.; FLÜCHTER, K. Internet of things. **Business & Information Systems Engineering**, Springer, v. 57, n. 3, p. 221 – 224, 2015.

WUEST, T. *et al.* Overview of Smart Manufacturing in West Virginia. In: . [S.l.: s.n.], 2018.

Apêndices

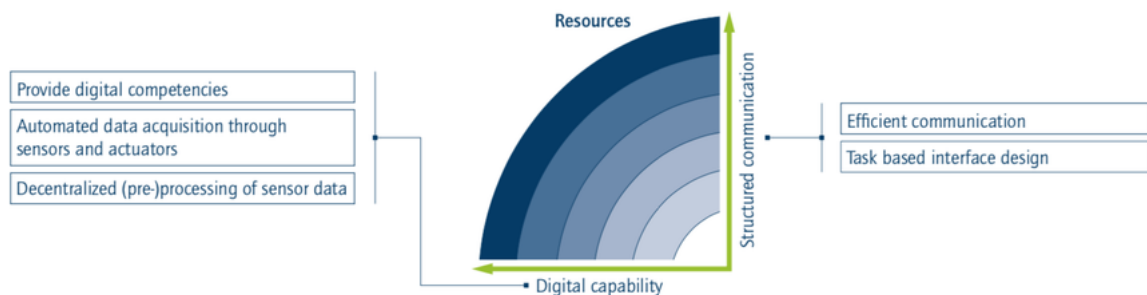
APÊNDICE A – ELEMENTOS MAIS IMPORTANTES PARA AVALIAÇÃO DE ACORDO COM O ESTUDO DA ACATECH

O seguinte apêndice sobre os fatores mais importantes da Indústria 4.0 foi baseado na sua totalidade em Schuh *et al.* (2017).

1.1 Recursos

Refere-se a recursos físicos e tangíveis. Por exemplo, recursos humanos, maquinário e equipamento, ferramentas, materiais e o produto final. Um esquema dos critérios de avaliação dessa área estrutural pode ser visto na figura 25.

Figura 25 – Resumo das principais características da Indústria 4.0 frente à área estrutural de Recursos



Fonte: Schuh, Günther et al. (2017)

1.1.1 Capacidade digital

Capacidade digital é a competência dos recursos para gerar e analisar dados e implementar as decisões correspondentes.

Providenciar competências digitais:

- Deve-se promover ações interdisciplinares na maneira com que os funcionários pensam e atuam;
- Os colaboradores devem estar bem envolvidos em processos de inovação;
- Automação contínua de processos para que no futuro os colaboradores utilizem mais as suas habilidades criativas e de tomada de decisão;

- d) No longo prazo, habilidades aplicadas não serão suficientes, os colaboradores deverão ter mais responsabilidade individual de forma a agilizar o processo de aprendizagem e de tomada de decisão;
- e) Colaboradores que precisam tomar decisões devem ter acesso aos dados e poder processá-los para que possam tomar uma decisão final robusta;
- f) Os colaboradores devem entender o valor dos dados nas tomadas de decisão de curto, médio e longo prazo;
- g) Os colaboradores devem ter um conhecimento comum de Indústria 4.0;
- h) A empresa deve ajudar os seus colaboradores a adquirir habilidades integradas e interdisciplinares de TI, para que consigam entender de forma básica as aplicações e processos utilizados em diferentes partes do negócio;
- i) Os colaboradores que lidam com dados sensíveis em plataforma de TI devem compreender a importância da segurança da informação;
- j) Os colaboradores devem ser treinados para estarem cientes de possíveis pontos de vazamento de dados e os fatores que os tornam pontos fracos;
- k) Regras devem ser estabelecidas sobre comunicação interna e especialmente sobre externa. Isso inclui mídias sociais e ferramentas colaborativas.

Aquisição automática de dados através de sensores e atuadores:

- a) A prioridade em relação a recursos tecnológicos deve ser o desenvolvimento de sistemas cyber-físicos (CPS);
- b) Maquinário e equipamento devem ter vários sensores;
- c) Sensores devem ser utilizados para monitorar a estabilidade de processos técnicos e os ajustes de curto prazo feitos neles;
- d) Objetos devem poder ser localizados;
- e) A empresa deve definir os requisitos para dados relevantes e selecionar os sensores corretos.

(Pré-)processamento descentralizado de dados de sensores:

- a) Um certo pré-processamento de dados deve ser feito através de sistemas embarcados. A tecnologia cada vez mais permite que o processamento de dados possa ser feito de forma descentralizada e diretamente nos sistemas embarcados ligados aos recursos técnicos.

1.1.2 Comunicação Estruturada

Os números de decisões em uma empresa são cada vez maiores e sistemas centralizados são cada vez mais complexos. A descentralização dos controles de decisão é importante para dar agilidade e robustez aos processos. Para que isso seja feito de forma integrada, a comunicação estruturada é muito importante.

Comunicação efetiva:

- a) Comunicação entre colaboradores deve ser documentada e rastreada, sem redundâncias e de uma forma que satisfaz as necessidades dos grupos relevantes de *stakeholders*. Nesse contexto, rastreabilidade significa saber o contexto da mensagem;
- b) Deve-se prevenir redundâncias tendo dados em uma única versão válida (*single source of truth*);
- c) Devem existir perfis e papéis que fazem com que colaboradores possam ser incluídos em processos de comunicação de forma contextualizada e, se necessário, de forma retroativa;
- d) Os procedimentos de aprovação devem ser digitais, por serem rápidos, transparentes e possibilitarem a revogação de aprovações;
- e) Os *stakeholders* devem ser diretamente informados sobre o *status* de pedidos e as informações relevantes devem ser diretamente agrupadas aos procedimentos de aprovação.

Design de interface baseado em tarefas:

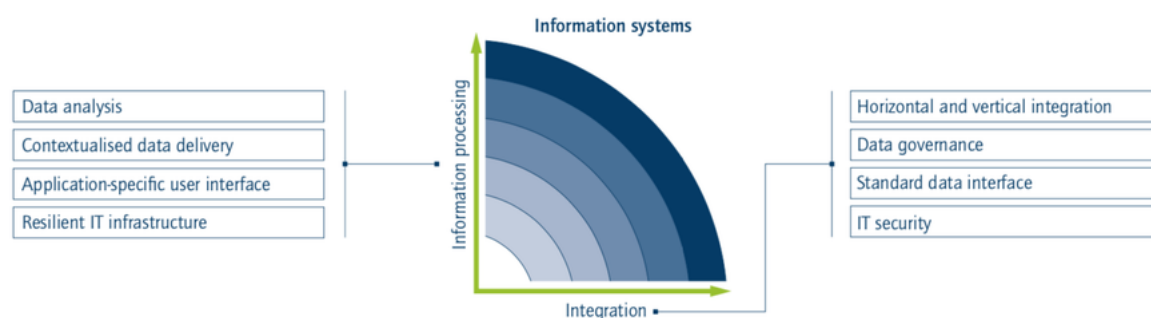
- a) Soluções *Auto-Id* devem possibilitar o reconhecimento de objetos e os seus atributos. Junto com uma *interface* gráfica, deve ser possível ver informações sensíveis ao contexto;
- b) *Interfaces* de *hardware* devem possibilitar que sistemas interajam entre si. No futuro, os CPS farão parte de uma rede dinâmica;
- c) Devem existir tecnologias de identificação tanto dos agentes tecnológicos, quanto humanos;
- d) Ao adquirir novos sistemas, é importante levar em conta a conectividade deles, que podem ser tanto através de cabos ou de conexões sem fio. Deve-se dar preferência por soluções de *interface* aberta, para evitar dependências;

- e) A fábrica deve ter uma estrutura adequada instalada (por exemplo, rede de *internet*);
- f) A conexão à *internet* é importante para que funções de manutenção e produção possam ser acessadas remotamente;
- g) Os materiais devem passar por diversos “*reporting points*” de forma que seja possível rastreá-los;
- h) A companhia deve ser capaz de identificar os requisitos de informação e selecionar as tecnologias apropriadas;
- i) Deve-se levar em conta aspectos de usabilidade e de ergonomia.

1.2 Sistemas de Informação

Sistemas de Informação são sistemas sociotécnicos que preparam, processam, armazenam e transferem dados e informações. A configuração do sistema de TI é peça chave para garantir a disponibilidade de dados e informações para a tomada de decisão. Um esquema dos critérios de avaliação dessa área estrutural pode ser visto na figura 26.

Figura 26 – Resumo das principais características da Indústria 4.0 frente à área estrutural de Sistemas de Informação



Fonte: Schuh, Günther et al. (2017)

1.2.1 Processamento de dados

As informações devem ser capturadas, processadas e disponibilizadas de uma forma amigável ao usuário para que a tomada de decisão seja amparada. Dessa forma, a infraestrutura de TI deve ser rápida e robusta para fornecer informação com fluidez. Além disso, o sistema deve ser integrado de forma a permitir o uso de dados comuns (“*single source of truth*”) através da cadeia de valor.

As empresas precisam entender dados e informações como um recurso que agrega valor, bem como o processo que coleta essas informações e as disponibiliza para os colaboradores.

Análise automatizada de dados:

- a) Deve haver automação de análise de dados para gerar informações que auxiliarão na tomada de decisões;
- b) Deve-se buscar a análise automática de dados de forma a permitir a identificação de relações de causa e efeito utilizando dados de diferentes fontes e possibilitando a previsão de eventos futuros;
- c) Deve haver um monitoramento contínuo das correntes de dados de acordo com regras específicas e correlações de forma com que elas possam ser agregadas para produzir informações de maior valor;
- d) Decisões baseadas em dados também devem acontecer em um nível mais macro de produção. Geralmente, nesse contexto, as correntes de dados são muito maiores, diversas e heterogêneas e requerem aplicações e tecnologias capazes de realizar esse tipo de processamento;
- e) A análise de dados não pode se limitar às relações de causa e efeito já conhecidas. A empresa deve continuar aprendendo e identificando novas relações. Quando algo inesperado acontece, deve-se investigar as causas. Uma vez que uma nova correlação foi identificada, ela pode ser usada no futuro;
- f) Eventos recorrentes devem ser utilizados para gerar previsões sobre como os dados desenvolver-se-ão. Algoritmos de otimização automaticamente devem gerar recomendações apropriadas.

Fornecimento de dados contextualizados:

- a) A informação deve ser preparada e entregue de acordo com os requisitos do contexto específico. “*System of engagement*”: colaboradores devem ser informados através de eficazes e eficientes sistemas logísticos de informação que entregam a informação certa, no lugar certo, na hora certa, na qualidade certa, para a pessoa certa e na quantidade certa.

Interface com usuário específica por aplicação:

- a) A informação providenciada deve ser continuamente casada com as necessidades do destinatário e o formato adaptado ao uso momentâneo (tanto em relação ao nível de conhecimento do operário quanto à tarefa sendo realizada);
- b) Usuários e sistemas devem poder interagir através de realidade aumentada, virtual, voz ou gestos.

Infraestrutura de TI resiliente:

- a) A análise de dados e a disponibilidade de dados e informações dependem de uma estrutura de TI resiliente que atenda às necessidades técnicas de capturar, transferir, armazenar e processar dados e que garanta as funcionalidades do sistema de TI;
- b) As capacidades técnicas da infraestrutura de TI devem ser continuamente revistas para atender às necessidades do momento e isso é permitido através de redundâncias ou através do *design* do sistema;
- c) *Backups* e *softwares* especializados previnem ameaças a pessoas e ativos materiais e garantem a longevidade e usabilidade do sistema;
- d) Armazenamento situacional de dados permite que dados possam ser acessados em uma janela de tempo apropriada;
- e) Bases de dados em memória permitem acessos frequentes de dados de forma que haja um suporte rápido e estável às tomadas de decisão.

1.2.2 Integração

A criação de uma plataforma que integre os diferentes sistemas de informação deve ter interfaces padronizadas, flexibilidade, transparência, segurança e deve ter dados de qualidade.

Integração vertical e horizontal:

- a) Uso de dados comuns através da cadeia de valor é permitido através de sistemas de informação que estão totalmente integrados verticalmente e horizontalmente;
- b) Informação é trocada continuamente entre sistemas de TI na cadeia de valor de forma que dados sobre o pedido são sempre ligados ao produto, trabalho e instruções de processamento e informações do cliente, e todos usuários acessam o mesmo conjunto de dados. Isso marca uma mudança em relação aos sistemas incrivelmente complexos de dados que possuem muitas camadas de redundância de dados (conceito de “*single source of truth*”). Hoje, muitas empresas apresentam sistemas com dados isolados (desenvolvimento, produção e marketing, por exemplo). Dessa forma, mudanças em uma dessas funções não são compartilhadas com as outras;
- c) Deve haver transparência em relação aos sistemas de TI que são empregados, tudo deve ser supervisionado pelo departamento de TI.

Interface de dados padrão:

- a) Ao invés de guardar todas as informações de forma central, a chave para criar sistemas “*single source of truth*” é conectar todos os sistemas de TI via interfaces padrão.

Governança de dados:

- a) Companhias devem adquirir capacidades técnicas e organizacionais relevantes de forma a melhorar a qualidade dos dados;
- b) Políticas de governança de dados são importantes para guiar o processamento, estoque, gerenciamento e apresentação de dados de qualidade dentro da empresa;
- c) Capacidades técnicas para melhorar a qualidade das informações incluem limpeza automatizada de dados (identificação, padronização, remoção de dados duplicados, consolidação e melhoria dos dados) e sistemas master de gerenciamento de dados.

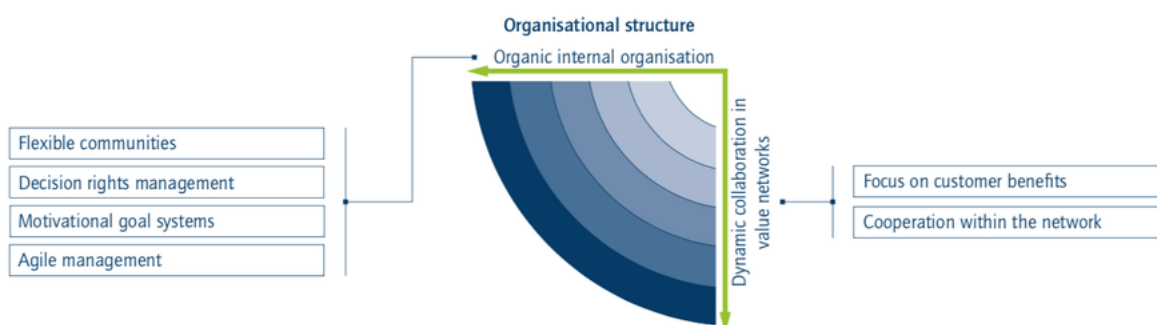
Segurança da informação:

- a) O potencial de ataques ao sistema é proporcional ao grau de integração. Segurança da informação deve englobar diferentes estratégias para identificação e implementação de medidas de segurança;
- b) Aderência a padrões, como a IEC 62443, norma da International Electrotechnical Commission (IEC) tratando da segurança de redes e sistemas, podem ajudar a conter os riscos. Padrões desse tipo incluem medidas proativas para manter a segurança da informação e adaptá-la de forma dinâmica de acordo com a situação. Essas medidas englobam problemas com administração de ativos, identificação e autenticação de usuários, validações de saúde do sistema e controle do fluxo de dados. Respostas a incidentes existentes em relação à segurança da informação também são visadas nos padrões de segurança da informação.

1.3 Estrutura Organizacional

Refere-se tanto à organização interna (estrutura e processos operacionais) e a sua posição na cadeia de valor. Diferente da área “Cultura”, a “Estrutura Organizacional” dita regras obrigatórias que organizam o trabalho dentro e fora da organização. “Cultura” é referente aos sistemas de valor dentro da organização e, dessa forma, descreve os fatores mais focados nas habilidades interpessoais no contexto da colaboração. De qualquer forma, essas duas áreas estruturais são dependentes e devem ter coerência entre si. Um esquema dos critérios de avaliação dessa área estrutural pode ser visto na figura 27.

Figura 27 – Resumo das principais características da Indústria 4.0 frente à área estrutural de Estrutura Organizacional



Fonte: Schuh, Günther et al. (2017)

1.3.1 Estrutura interna orgânica

Em uma estrutura interna orgânica, os empregados devem ter menos restrições e maior grau de responsabilidade individual. Essa forma de organização é particularmente recomendada para empresas cuja força de trabalho é altamente capacitada e que atua em um ambiente dinâmico.

Comunidades flexíveis:

- a) Colaboradores são frequentemente trocados de equipes e realizam tarefas diferentes. Eles podem estar alocados em um departamento, mas, na prática, irão trabalhar como membros de times orientados a tarefas ou objetivos;
- b) A empresa deve facilitar a colaboração entre especialistas em tópicos diferentes criando equipes de especialistas para endereçar temas específicos.
- c) Pessoas com diferentes habilidades de diferentes partes da companhia devem estar trabalhando na mesma direção em prol de um objetivo comum. A empresa deve estar organizada de forma a possibilitar cada vez mais a cooperação em equipes individuais;
- d) Conceito de comunidades: unidades organizacionais formam em torno de um tema específico ou tarefa. Comunidades permanentes tomam conta das rotinas do negócio, enquanto outras comunidades se constituem de forma temporária para se dedicar a uma tarefa ou objetivo;
- e) Processos rotineiros ou que requerem consistência e eficiência devem ter os seus graus de flexibilidade limitada, mas tarefas de inovação e focadas em problemas, não;

- f) Nesse contexto, gerenciamento de pessoas se torna uma tarefa mais complexa. Plataformas colaborativas de TI podem ajudar nessa tarefa;
- g) Novas tecnologias devem ajudar essas comunidades a melhorar o treinamento através de soluções contextualizadas e intuitivas, no contexto de realidade aumentada ou tecnologias 3D, por exemplo, que guiam colaboradores através de novas operações.

Gerenciamento de decisões:

- a) Deve haver um balanço entre decisões centralizadas e descentralizadas;
- b) Deve haver a ampla disponibilização de informações e maior transparência em relação à tomada de decisão.

Sistema de motivação e objetivos:

- a) Devem existir sistemas de metas multidimensionais que encorajam colaboradores a focar na eficiência de processos e melhoria contínua;
- b) Sistema de metas e remuneração devem se combinar para dar aos colaboradores um grau de segurança no sentido que eles podem ocasionalmente errar. Ao mesmo tempo, essa combinação deve motivá-los a utilizar todas as competências ao seu dispor para a organização. Isso requer um balanço de incentivos monetários e não monetários, como oportunidades de treinamento, perspectiva de desenvolvimento e liberdade individual.

Gerenciamento ágil:

- a) Devem existir processos rápidos de desenvolvimento de protótipos, apresentação de resultados concretos e alta frequência dos ciclos de *feedback* com os *stakeholders*;
- b) Validação de hipóteses sobre o produto ou resultado devem ser feitas o mais cedo possível em um ambiente do mundo real. Isso envolve focar nas funcionalidades básicas do produto, em um processo de produção de produtos mínimos viáveis (MVP). Outra possibilidade é o SCRUM;
- c) *Smart products* com funcionalidade de *software* possibilitam a coleta em escala de informações reais com usuários que possibilitam a futura otimização do produto.

1.3.2 Colaboração dinâmica dentro da cadeia de valor

Automação e fluidez das informações trocadas entre companhias diferentes possibilitam a cooperação mais dinâmica e fornecem cada vez mais transparência em relação ao

mercado. Isso também possibilita a redução de barreiras para fomentar maior flexibilidade. Nesse contexto, observa-se a possibilidade de aumentar a visibilidade operacional (usando tecnologias de IoT). O resultado é uma troca de informações, bens e serviços mais eficiente.

Foco no benefício para o consumidor:

- a) A empresa deve ter um claro foco em um número limitado de competências (*core competences* ou “*strategic success positions*”) de forma a prover uma proposição única de valor ao mercado;
- b) A companhia deve determinar como ela pode contribuir para satisfazer a necessidade do consumidor final, mesmo que ela não venda diretamente para o cliente;
- c) Empresas devem continuamente reavaliar as suas competências e, caso necessário, adaptá-las para satisfazer as novas circunstâncias;
- d) A empresa deve discriminar exatamente que papel desempenhará na cadeia de valor.

Cooperação dentro da rede:

- a) Integração sistemática das competências de diversos parceiros (*competency management*) possibilita uma resposta mais rápida às mudanças de mercado;
- b) *Marketplaces* flexíveis são cada vez mais importantes. Nesse sentido, o gerenciamento de direitos digitais tem um papel importante.

1.4 Cultura

A agilidade de uma empresa é altamente dependente do comportamento de seus colaboradores. Como a experiência *lean* identificou que o fator crítico do sucesso da sua implementação era a mudança da cultura dos funcionários, o mesmo acontece quando se fala de Indústria 4.0. Somente as mudanças tecnológicas não são suficientes e as empresas devem também olhar cuidadosamente para o aspecto cultural, antes ainda de conseguir fazer com que sistemas de assistência digital adicionem valor. Um esquema dos critérios de avaliação dessa área estrutural pode ser visto na figura 28.

Figura 28 – Resumo das principais características da Indústria 4.0 frente à área estrutural de Cultura



Fonte: Schuh, Günther et al. (2017)

1.4.1 Disposição para a mudança

Quanto aos colaboradores, devem estar dispostos a continuamente revisar e adaptar os seus comportamentos em resposta a um ambiente dinâmico. Essa disposição para a mudança não deve se confinar somente às situações em que mudanças já estão sendo implementadas. A disposição para a mudança é um elemento chave para a agilidade da empresa. O cenário ideal é que todos na empresa tenham disposição para a mudança. Os elementos abaixo não devem ser considerados separadamente, somente quando eles estão presentes juntos e combinados que resultam na disposição para a mudança.

Reconhecer o valor dos erros:

- a) Reconhecer o grande valor dos erros. Entendimento de que o aprendizado e a mudança só podem ser acionados através dos erros;
- b) Erros são uma oportunidade para entender melhor os processos da companhia e descobrir, antes obscuras, relações de causa e efeito dentro da empresa;
- c) Uma estratégia em que sistematicamente evitam-se os erros, aplicando penas duras àqueles que erram e pregando a correção de erros de forma rápida e silenciosa é uma péssima abordagem. Empregados de empresas desse tipo frequentemente não estão dispostos a revelar erros. Essa atitude inibe a disposição para a mudança;
- d) Uma cultura que reconhece o valor dos erros é caracterizada pela atitude de discutir abertamente as falhas quando elas ocorrem, além da disposição para documentá-las de forma sistemática e da determinação por apontar as causas e as soluções dos erros. Quando os problemas são investigados, o foco da busca é no entendimento das causas e não em quem deve ser o culpado.

Abertura para inovação:

- a) Entendimento profundo de como novas tecnologias e abordagens funcionam é essencial para garantir que elas estão integradas à empresa de uma forma que agregue valor. Os benefícios das inovações nem sempre são imediatamente aparentes, uma vez que as pessoas não estão familiarizadas com as tecnologias porque elas nunca foram utilizadas na companhia;
- b) Abertura à inovação e novos jeitos de fazer as coisas é uma capacidade importante que é necessária para iniciar mudança, mesmo que estas sejam algumas vezes nada convencionais.

Aprendizado e tomadas de decisão a partir de dados:

- a) Erros devem ser identificados e as suas causas apontadas o mais rapidamente possível;
- b) Ao invés de lidar com erros de acordo com intuição, é importante desenvolver um entendimento baseado em dados das causas dos problemas para que as medidas corretas possam ser adotadas para resolvê-los;
- c) As companhias ágeis conseguem fazer isso, porque elas continuamente monitoram os seus processos de adição de valor ao capturar dados relevantes aos processos;
- d) Os colaboradores têm confiança nos dados e estão dispostos a aprender com eles e basear as suas decisões nesse tipo de conhecimento;
- e) A força de trabalho deve estar comprometida com a melhoria contínua e saber que decisões não devem ser baseadas puramente na experiência individual de uma pessoa. Ela deve entender que decisões baseadas em dados produzem resultados melhores e mais rápidos do que a tomada de decisões baseada em experiências individuais.

Desenvolvimento profissional contínuo:

- a) A digitalização da indústria está transformando drasticamente as habilidades necessárias para os colaboradores de empresas de manufatura. A tendência é que a demanda no futuro será menos por especialistas em um assunto e mais por profissionais “multi-versáteis”. Estes têm entendimentos interdisciplinares dos processos inter-relacionados e são capazes de adquirir o entendimento necessário de especialista em um curto espaço de tempo. Essa categoria de empregado entende que algumas habilidades e conhecimentos que ele adquiriu no passado serão úteis por

um tempo limitado. Além disso, eles são caracterizados por um desejo de continuar aprendendo no decorrer de suas vidas. O fato de que eles monitoram como o ambiente está mudando significa que eles conseguem rapidamente identificar as novas habilidades necessárias. Eles são capazes de desenvolver programas de treinamento que endereçam tanto as necessidades de novas competências quanto as necessidades dos empregados.

Moldando a mudança:

- a) As medidas corretas devem ser iniciadas, implementadas e completadas o mais rápido possível. É importante garantir que a iniciativa é tomada por aqueles empregados que são melhores na interpretação de eventos externos baseado no conhecimento à sua disposição. Esses funcionários que frequentemente trabalham de forma muito próxima com o sistema ou máquina em questão não têm necessariamente a autoridade para tomar decisões. Dessa forma, dar aos colaboradores margem para manobra e espaço para que eles compartilhem os conhecimentos técnicos relevantes são requisitos importantes. O fator crítico é, no entanto, que colaboradores entendam que eles também são responsáveis pela mudança. Não basta que eles aceitem mudanças, eles também devem iniciá-las por conta própria e estejam preparados para dar o primeiro passo para que as mudanças ocorram.

1.4.2 Colaboração social

Até que ponto os colaboradores pensam que suas ações devem ser guiadas por dados e fatos? O cenário ideal é que todos acreditem que os seus comportamentos são guiados por conhecimento baseado em dados e fatos. Um ambiente caracterizado por confiança e colaboração social forma a base de um compartilhamento aberto e desinibido entre os funcionários. Consequentemente, a colaboração social ajuda a acelerar o compartilhamento de conhecimento dentro da corporação.

Estilo de liderança democrático:

- a) As decisões devem ser tomadas rapidamente, mas sem terem a sua qualidade alterada. Isso requer que as informações e conhecimentos necessários para que as medidas possam ser tomadas devem estar disponíveis e que o processo de decisão também deve ser mais rápido;
- b) Adotar um processo de decisão mais flexível e dar às pessoas maior liberdade cria uma base para um processo de tomada de decisão mais rápido;

- c) Além disso, é igualmente importante que colaboradores tenham confiança mútua de forma que as decisões não somente sejam tomadas rapidamente, mas também sejam implementadas rapidamente;
- d) Ao invés de meramente ver os funcionários como recursos, a gestão precisa valorizar os funcionários como parte da comunidade devido às competências que cada um traz para a mesa. A capacidade que faz isso possível é um estilo de liderança democrático.

Comunicação aberta:

- a) Os colaboradores devem ter acesso instantâneo ao conhecimento implícito e explícito necessários. Enquanto o conhecimento explícito pode ser providenciado através da tecnologia de comunicação apropriada, o compartilhamento de conhecimento implícito requer a interação direta entre as pessoas que detêm o conhecimento e as pessoas que o estão buscando;
- b) A força de trabalho deve parar de pensar em termos de hierarquias rígidas e abandonar a mentalidade “nós contra eles”. Os colaboradores terão adquirido a habilidade de comunicação aberta se tiverem aceitado o compartilhamento aberto de informações e trabalho em equipe. Uma vez que todos os colaboradores da organização estão dispostos a compartilhar informações com todos, é possível acelerar significativamente o processo de aprendizagem dentro da empresa.

Confiança em processos e nos sistemas de informação:

- a) A aceitação e uso sistemático de tecnologia de informação e sistemas só podem ser garantidos se o pessoal afetado é incluído no processo de mudança logo no começo e possam ativamente participar do processo de moldar a mudança;
- b) Toda a força de trabalho deve entender que os benefícios desses sistemas de informação só serão colhidos se eles forem sistematicamente utilizados por todos;
- c) A confiança dos colaboradores nos processos e nos sistemas de informação possibilita o rápido compartilhamento de conhecimento documentado. Essa confiança é baseada no entendimento dos colaboradores sobre como os sistemas de informação tomam as suas decisões. É importante que os funcionários reconheçam os benefícios concretos das recomendações desses sistemas. Ao mesmo tempo, no entanto, os colaboradores devem manter um olhar crítico diante desses sistemas e estar entusiasticamente dispostos a melhorá-lo com os seus próprios conhecimentos e interesses de melhoria contínua.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA A AVALIAÇÃO DAS EMPRESAS

O questionário utilizado na condução dessa pesquisa foi baseado no trabalho de Schuh *et al.* (2017). As afirmações que foram feitas aos respondentes podem ser vistas em sua totalidade a seguir.

2.1 Recursos

2.1.1 Capacidade Digital:

- a) No dia a dia, a empresa está focada em automação para que os funcionários utilizem mais as suas habilidades criativas e de tomada de decisão;
- b) Colaboradores que tomam decisões podem manipular dados relevantes para servir de apoio às decisões (acesso a bancos de dados, planilhas ou similares);
- c) A prioridade em relação a recursos tecnológicos é o desenvolvimento e implantação de sistemas que misturam o mundo digital com o mundo físico (alguns exemplos são robôs que podem ser programados através da *internet*, carros autônomos, redes de energia inteligentes, prédios inteligentes, sistemas de detecção e monitoramento, robôs que trabalham conjuntamente com humanos, entre muitos outros);
- d) Há um processo de levantamento de requisitos para identificar quais são os dados relevantes e com base nesse processo são selecionados os sensores corretos para os maquinários e para os equipamentos (por exemplo, há um processo que define que é importante medir a temperatura de uma máquina para melhor controlar o processo. Dessa forma, escolhe-se um termômetro digital para automaticamente medir essa temperatura e mandar essas informações para um servidor central);
- e) Processos e ajustes nos processos são monitorados através de sensores.

2.1.2 Comunicação Estruturada:

- a) É feito um (pré-)processamento de dados (ligados aos recursos técnicos) através de sistemas embarcados (por exemplo, uma máquina pode calcular métricas de produção através da leitura de diversos sensores. Os dados desses sensores são processados de forma a se obter uma informação relevante sobre o processo, por exemplo, litros produzidos/segundo);
- b) A comunicação entre colaboradores é documentada e através de uma mensagem se pode ver o seu contexto (mensagens, pessoas, processos relacionados, etc);
- c) Existem controles de versão para que sejam utilizadas apenas as versões vigentes;

- d) Há perfis e papéis que fazem com que colaboradores possam ser incluídos em processos de comunicação de forma contextualizada e, se necessário, de forma retroativa (por exemplo, em ferramentas como o Microsoft Teams, pode-se dar acesso às mensagens antigas de um grupo, conseguindo dar acesso contextualizado e retroativo para colaboradores. Em algumas plataformas, também é possível dar acesso aos processos de comunicação de acordo com a equipe ou funções exercidas pelo funcionário);
- e) Os procedimentos de aprovação são rápidos, transparentes e podem ser revogados imediatamente (idealmente digitais) sendo os stakeholders diretamente informados sobre o status dos pedidos de aprovação e as informações relevantes diretamente agrupadas aos procedimentos de aprovação;
- f) Objetos, equipamentos e pessoas apresentam uma forma de identificação e com base nela pode-se reconhecer seus atributos (inclusive rastreabilidade). Junto com uma *interface* gráfica pode-se ver informações relativas ao contexto (por exemplo, um pacote pode possuir um RFID e por cada lugar que ele passa, o pacote é escaneado. Quando o código desse pacote é inserido em um computador, pode-se ver na tela informações sobre o objeto e por quais lugares ele passou);
- g) Os diferentes sistemas da empresa interagem entre si;
- h) Durante a aquisição de novos sistemas, leva-se em consideração tanto a conectividade deles entre si quanto entre os sistemas preexistentes, dando preferência por soluções de interface aberta;
- i) Há conexão de *internet* boa e amplamente disponível o tempo todo;
- j) Funções de manutenção e produção podem ser acessadas remotamente;
- k) A empresa é capaz de identificar os requisitos de informação e selecionar tecnologias apropriadas, levando-se em consideração aspectos relativos à usabilidade e à ergonomia.

2.2 Sistemas de Informação

2.2.1 Processamento de Dados:

- a) Há a automação da análise de dados de forma a gerar informações que auxiliarão na tomada de decisões;
- b) A análise automática de dados permite a identificação de relações de causa e efeito utilizando dados de diferentes fontes e possibilitando a previsão de eventos futuros;

- c) As decisões baseadas em dados também acontecem em um nível mais macro de produção (geralmente requer aplicação de diversas tecnologias distintas para processar correntes de dados muito maiores);
- d) A análise de dados não se limita a relações de causa e efeito já conhecidas, investigando eventos inesperados incorporando uma nova correlação encontrada para ser utilizada no futuro;
- e) Eventos recorrentes são utilizados para gerar previsões sobre como os dados desenvolver-se-ão no futuro por meio de algoritmos de otimização que geram automaticamente recomendações apropriadas;
- f) Colaboradores são informados através de eficazes e eficientes sistemas logísticos que entregam a informação certa, no lugar certo, na hora certa, na qualidade certa, para a pessoa certa e na quantidade certa;
- g) As informações providenciadas são continuamente adequadas às necessidades do destinatário e o formato adaptado ao uso momentâneo (tanto em relação ao nível de conhecimento do operário quanto à tarefa sendo realizada);
- h) Usuários e sistemas podem interagir através de realidade aumentada, virtual, voz ou gestos;
- i) A estrutura de TI é resiliente e atende às necessidades técnicas de capturar, transferir, armazenar e processar dados;
- j) As capacidades técnicas da infraestrutura de TI, através de redundâncias ou *design* do sistema, são continuamente revistas para atender as necessidades do momento;
- k) *Backups* e *softwares* especializados previnem ameaças às pessoas e aos ativos materiais e garantem a longevidade e usabilidade do sistema.

2.2.2 Integração:

- a) Uso de dados comuns através da cadeia de valor é permitido através de sistemas de informação que estão integrados através da cadeia de valor (fornecedores, empresa e consumidores) e dentro da empresa;
- b) Informação é trocada continuamente entre sistemas de TI na cadeia de valor de forma que informações sobre o pedido são sempre ligadas ao produto, trabalho e instruções de processamento e informações do cliente, e todos os usuários acessam o mesmo conjunto de dados (remoção de camadas de redundância e mudanças em uma função sendo compartilhadas com as outras);

- c) Há transparência em relação aos sistemas de TI que são empregados, sendo tudo supervisionado pelo departamento de TI;
- d) Todos os sistemas de TI são interconectados através de *interface* padrão (padrões abertos universais para cada categoria em questão);
- e) A empresa adquire capacidades técnicas e organizacionais relevantes de forma a melhorar a qualidade dos dados (ex. identificação, padronização, remoção de dados duplicados, consolidação e melhoria dos dados e sistemas master de gerenciamento de dados. . .);
- f) Segurança da informação engloba diferentes estratégias para identificação e implementação de medidas de segurança.

2.3 Estrutura Organizacional

2.3.1 Estrutura Interna Orgânica:

- a) Na prática, os colaboradores trabalham como membros de times orientados a tarefas ou objetivos. Esses times podem ter pessoas de diferentes habilidades e de diferentes partes da companhia;
- b) A empresa cria times de especialistas em tópicos diferentes para endereçar temas específicos;
- c) Tarefas de inovação e focadas em problemas apresentam muita flexibilidade, como a utilização de recursos necessários, sendo eles tecnológicos, humanos ou financeiros;
- d) Há um balanço entre decisões centralizadas e descentralizadas;
- e) Há uma ampla disponibilização de informações e maior transparência em relação à tomada de decisão;
- f) A empresa possui um sistema de metas multidimensionais que encorajam colaboradores a focar na eficiência de processos e melhoria contínua;
- g) O sistema de metas encoraja os funcionários a utilizar todas as competências ao seu dispor para atingir os objetivos da organização, passando a impressão de que eles podem ocasionalmente errar;
- h) Há uma balança de incentivos monetários e não monetários, como oportunidades de treinamento, prospectos de desenvolvimento e liberdade individual;

- i) Os processos de desenvolvimento de protótipos e apresentação de resultados concretos são, além de rápidos, apresentados em alta frequência de *feedback* com os *stakeholders*;
- j) As hipóteses sobre o produto ou resultados alcançados são feitas o mais cedo possível em um ambiente do mundo real (foco nas funcionalidades básicas do produto (MVP) ou SCRUM, por exemplo);
- k) *Smart products* com funcionalidades de *software* possibilitam a coleta em escala de informações reais com usuários que possibilitam a futura otimização do produto.

2.3.2 Colaboração Dinâmica Dentro da Cadeia de Valor:

- a) A empresa tem um foco claro em um número limitado de competências de forma a prover uma proposição única de valor no mercado. Ela foca no que sabe fazer e não tenta abraçar outras responsabilidades;
- b) A companhia determina como ela pode contribuir para satisfazer a necessidade do consumidor final, mesmo que ela não venda diretamente para o cliente;
- c) A empresa continuamente reavalia as suas competências e, caso necessário, adapta-as para satisfazer novas circunstâncias;
- d) A integração sistemática das competências de diversos parceiros possibilita uma resposta mais rápida à mudanças de mercado.

2.4 Cultura

2.4.1 Disposição para a Mudança:

- a) Os funcionários e a empresa reconhecem o grande valor dos erros, existindo o entendimento de que o aprendizado e a mudança só podem ser acionados através dos erros;
- b) Os erros são abertamente discutidos quando eles ocorrem, sendo documentados em um processo de determinação de sua causa e soluções, observando-se que no caso de problemas investigados, o foco da busca é no entendimento das causas e não em quem deve ser o culpado;
- c) A empresa e os funcionários acreditam que a abertura à inovação e novos jeitos de fazer as coisas é uma capacidade importante que é necessária para iniciar mudança e adoção de medidas corretas, mesmo que estas sejam algumas vezes nada convencionais;

- d) Os funcionários lidam com erros de acordo com dados das causas dos problemas, e não de acordo com a intuição, para que as medidas corretas possam ser adotadas para resolvê-los;
- e) Há um foco em profissionais multi-versáteis, capazes de adquirir o entendimento necessário de especialista em um curto espaço de tempo;
- f) Há um desejo de continuar aprendendo, monitorando o ambiente de modo a identificar rapidamente as novas habilidades necessárias;
- g) Há desenvolvimento de programas de treinamento que endereçam tanto as necessidades de novas competências quanto as necessidades dos empregados;
- h) Os colaboradores não só aceitam mudanças, mas também são responsáveis por iniciá-las por conta própria, estando preparados para dar o primeiro passo para que as mudanças ocorram.

2.4.2 Colaboração Social:

- a) Através da disponibilidade de informações e conhecimento, é possível tomar decisões mais rapidamente, mas sem alterar a sua qualidade;
- b) Os colaboradores têm confiança mútua de forma que as decisões não só são tomadas rapidamente, mas também são implementadas rapidamente;
- c) A empresa adota um processo de decisão mais flexível e dá às pessoas maior liberdade de modo a possibilitar um processo mais rápido de tomada de decisão;
- d) Se o colaborador precisa de um conhecimento que está escrito em algum lugar, ele consegue ter acesso a esse material. Se esse conhecimento está apenas na cabeça de alguma pessoa, o funcionário consegue marcar uma conversa com ela para que o conhecimento seja transmitido;
- e) Os colaboradores da organização estão dispostos a compartilhar informações com todos (parar de pensar em termos de hierarquias rígidas ou mentalidades “nós contra eles”);
- f) As pessoas afetadas por sistemas de TI são incluídas no processo de mudança logo no começo e podem ativamente participar dos processos de moldar a mudança;
- g) Toda força de trabalho entende que os benefícios dos sistemas de informação só serão colhidos se eles forem sistematicamente utilizados por todos;

- h) Os funcionários confiam nos sistemas de informação para tomada de decisões, mas também mantêm um olhar crítico no sistema e estão entusiasticamente dispostos a melhorá-lo com os seus próprios conhecimentos e interesses de melhoria contínua.