



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção PPGEP/UFOP



**UM ESTUDO SOBRE AS BARREIRAS QUE IMPACTAM
A ADOÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0**

Raphaella Ferreira Cordeiro

João Monlevade, MG

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção PPGEF/UFOP



Raphaella Ferreira Cordeiro

UM ESTUDO SOBRE AS BARREIRAS QUE IMPACTAM A ADOÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientadora: Dra. Luciana Paula Reis

Coorientador: Dr. June Marques Fernandes

João Monlevade, MG

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C794e Cordeiro, Raphaella Ferreira.
Um estudo sobre as barreiras que impactam a adoção da Indústria
4.0. [manuscrito] / Raphaella Ferreira Cordeiro. - 2022.
60 f.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Reis.
Coorientador: Prof. Dr. June Marques.
Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro
Preto. Departamento de Engenharia de Produção. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção.

1. Indústria - Indústria 4.0. 2. Estatística industrial - Análise fatorial. 3.
Econometria - Regressão múltipla. I. Marques, June. II. Reis, Luciana. III.
Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Raphaella Ferreira Cordeiro

Um estudo sobre as barreiras que impactam a adoção da indústria 4.0

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em 15 de fevereiro de 2022

Membros da banca

Profa. Dra. Luciana Paula Reis - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof. Dr. June Marques Fernandes - Coorientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof. Dr. Sérgio Evangelista Silva (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof. Dr. William de Paula Ferreira (Instituto Federal de São Paulo e Escola Politécnica de Montreal - PolyMTL - Canadá)

Luciana Paula Reis, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 22/02/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Paula Reis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/02/2022, às 14:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0283702** e o código CRC **2644B796**.

Resumo

A nova onda industrial, a chamada Indústria 4.0 (I4.0), promete reformular os padrões atuais de produção e consumo. Considerada uma das principais tendências nos sistemas de fabricação atual, a I4.0 tem revolucionado os cenários industriais, demonstrando grande potencial para desbloquear práticas mais integradoras dentro das organizações. No processo de implementação da Indústria 4.0 são encontradas diferentes barreiras que dificultam ou até mesmo inviabilizam a obtenção de resultados satisfatórios. A partir de uma revisão abrangente da literatura, foram identificadas um total de 12 barreiras que representam as principais dificuldades enfrentadas pelas empresas durante a adoção da I4.0. Uma vez identificadas, o trabalho tem como objetivo avaliar o impacto das barreiras vivenciadas pelas organizações na adoção da I4.0. Como abordagem de pesquisa foi utilizado o método *survey*, que adota o uso do questionário para a coleta de dados. Este questionário foi enviado a um conjunto de indústrias e, a partir do *feedback* de 99 empresas, foi realizado uma análise e tratamento quantitativo dos dados com o auxílio da análise fatorial, juntamente com a regressão múltipla. Essas análises buscaram validar o modelo estrutural proposto que visa representar o relacionamento dessas barreiras com a adoção. Além disso, os resultados alcançados podem auxiliar os gestores na compreensão profunda dos desafios da Indústria 4.0, facilitando a propagação desse conceito nas empresas brasileiras.

Palavras-chave: Indústria 4.0, barreiras, análise fatorial, regressão múltipla.

Abstract

The new industrial wave, the so-called Industry 4.0 (I4.0), promises to reshape current patterns of production and consumption. Considered one of the main trends in current manufacturing systems, I4.0 has revolutionized industrial scenarios, demonstrating great potential to unlock more integrative practices within organizations. In the process of implementing Industry 4.0, different barriers are found that make it difficult or even impossible to obtain satisfactory results. From a comprehensive literature review, a total of 12 barriers were identified that represent the main difficulties faced by companies during the adoption of I4.0. Once identified, the work aims to assess the impact of barriers experienced by organizations in the adoption of I4.0. As a research approach, the survey method was used, which adopts the use of the questionnaire for data collection. This questionnaire was sent to a set of industries and, based on the feedback of 99 companies, an analysis and quantitative treatment of the data was carried out with the aid of factor analysis, together with multiple regression. These analyzes sought to validate the proposed structural model that aims to represent the relationship of these barriers to adoption. In addition, the results achieved can help managers to deeply understand the challenges of Industry 4.0, facilitating the propagation of this concept in Brazilian companies.

Keywords: Industry 4.0, barriers, factor analysis and multiple regression.

Lista de Figura

Figura 1 – Modelo estrutural.....	31
Figura 2 –Metodologia.....	32
Figura 3 – Modelo estrutural final	45

Lista Tabela

Tabela 1 – Resumo da revisão de literatura.....	18
Tabela 2 – Barreira alinhamento estratégico.....	21
Tabela 3 – Barreira cultura organizacional.....	22
Tabela 4 – Barreira liderança e gestão.....	22
Tabela 5 – Barreira falta de padrão de arquitetura de referência.....	23
Tabela 6 – Barreira infraestrutura da empresa.....	23
Tabela 7 – Barreira má qualidade dos dados existentes.....	24
Tabela 8 – Barreira problemas de segurança e privacidade.....	25
Tabela 9 – Barreira restrição financeira.....	25
Tabela 10 – Barreira falta de compreensão sobre os benefícios.....	26
Tabela 11 – Barreira formação e capacitação de funcionários.....	27
Tabela 12 – Barreira resistência à mudança.....	28
Tabela 13 – Barreira falta de normas e regulamentos.....	29
Tabela 14 – Variáveis do constructo adoção.....	30
Tabela 15 – Caracterização da amostra.....	36
Tabela 16 – Análise descritiva das variáveis do modelo.....	37
Tabela 17 – Análise exploratória barreira.....	38
Tabela 18 – Análise exploratória adoção.....	40
Tabela 19 – Análise confirmatória saída 1.....	41
Tabela 20 – Análise confirmatória saída 2.....	42
Tabela 21 – Análise confirmatória saída 3.....	42
Tabela 22 – Análise confirmatória saída 4.....	43
Tabela 23 – Análise regressão linear.....	44

Listas de Abreviaturas e Siglas

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

CNI - Confederação Nacional da Indústria

I4.0 - Indústria 4.0

IOT - Internet das Coisas

MDIC - Ministério da Indústria e Comércio Exterior

PIB - Produto Interno Bruto

RFID - Identificação por radiofrequência

Sumário

1.1 Introdução.....	09
1.2 Problema de pesquisa.....	11
1.3 Objetivos.....	12
1.4 Justificativa.....	13
1.5 Estrutura da dissertação.....	14
2. Revisão da Literatura.....	14
2.1 Revolução Industrial e os Fundamentos Teóricos da I4.0.....	14
2.2 Empresas brasileiras no cenário da indústria 4.0.....	15
2.3 Visão geral da literatura existente sobre as barreiras da indústria 4.0.....	16
2.4 As barreiras da indústria 4.0.....	20
2.5 Adoção da indústria 4.0.....	29
2.6 Modelo estrutural proposto e suas definições.....	30
3. Metodologia.....	31
4. Apresentação dos dados.....	34
4.1 Caracterização da amostra.....	34
4.2 Análise descritiva das variáveis do modelo.....	36
4.3 Análise Fatorial Exploratória.....	38
4.3.1 Análise Fatorial Exploratória grupo Barreiras.....	38
4.3.2 Análise Fatorial Exploratória grupo adoção.....	40
4.4 Análise Confirmatória.....	41
4.5 Regressão Múltipla.....	43
5. Conclusão.....	47

1. Aspectos introdutórios

Este capítulo se divide em cinco seções, a primeira apresenta a contextualização sobre adoção da Indústria 4.0 e as suas barreiras. Na segunda seção, é exposta a problemática da pesquisa. A terceira seção aborda a problemática de pesquisa e os objetivos geral e específicos. Em seguida, na quarta seção, é analisada a importância do trabalho e por último, a quinta seção apresenta a estrutura da pesquisa.

1.1 Introdução

O termo Indústria 4.0 (I4.0) representa a quarta revolução industrial que é definida como um novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia produtiva. Segundo Schumacher *et al.* (2016a), a Indústria 4.0 refere-se aos diversos tipos de avanços tecnológicos que funcionam como uma espinha dorsal para integrar objetos físicos, agentes humanos, máquinas inteligentes e os processos de produção. Assim, com a expansão da interação e dos limites organizacionais, forma-se um novo tipo de cadeia de valor inteligente. Um dos principais objetivos é converter as máquinas comuns em máquinas inteligentes e de autoaprendizagem, para melhorar seu desempenho produtivo e de gerenciamento (BENDUL E BLUNCK, 2019). Essas novas práticas modificam completamente os cenários industriais, influenciando desde processos financeiros a ações voltadas para segurança e sustentabilidade (DALENOGARE *et al.*, 2018).

Incentivados pelos potenciais ganhos produtivos e de sustentabilidade atrelados à I4.0, diversos governos estão formulando planos de ações para incentivar a economia local e suas empresas no processo de adoção da revolução 4.0. Em cada país um novo programa relacionado a I4.0 foi instalado, como por exemplo, Revolução robótica no Japão, a ‘fábrica do futuro na França’, a ‘fábrica digital’ no Reino Unido e a ‘manufatura avançada’ nos Estados Unidos (CASTELO-BRANCO *et al.*, 2019; MITTAL *et al.*, 2019; GOBBO *et al.*, 2018). No Brasil, o programa chamado “Rumo à Indústria 4.0” foi criado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) juntamente com outras iniciativas do Ministério da Indústria e Comércio Exterior (MDIC) para incentivar a adoção da manufatura inteligente (CASTELO-BRANCO *et al.*, 2019). Contudo, apesar dos incentivos, as pesquisas mostram que o nível de implementação desse novo modelo industrial ainda é baixo, havendo pouca adoção de

projetos envolvendo a I4.0 (MÜLLER *et al.*, 2018). Segundo Kamble *et al.* (2018), no período de 2016, menos da metade das empresas brasileiras estavam capacitadas e preparadas para as eventuais mudanças no mercado global impostas por esta nova revolução industrial. Esse relato confirma as informações apresentadas pelo relatório da consultoria PwC (2014), que aponta um baixo número de empresas brasileiras com nível avançado de digitalização em seus processos.

Para Müller *et al.* (2018), as organizações ainda têm uma montanha a transpor para o sucesso e implementação oportuna dos conceitos digitais, principalmente em relação às barreiras emergentes da propagação das tecnologias da I4.0. Os autores revisados (HORVÁTH *et. al* 2019; RAJ *et. al* 2019; SOUSA *et. al* 2018) sugerem ao todo 12 barreiras relacionadas a essa implementação no contexto das empresas: a falta de um alinhamento estratégico, a cultura organizacional, a liderança e gestão, a falta de compreensão sobre os benefícios da I4.0, a formação e capacitação de funcionário, a resistência à mudança, a falta de padrão de arquitetura de referência, a infraestrutura da empresa, a má qualidade da gestão de dados existentes, os problemas de segurança e privacidade, a restrição financeira e a falta de normas e regulamentos.

Sony *et al.* (2019) complementaram esses estudos trazendo um entendimento mais claro sobre os pré-requisitos que definem a adoção da I4.0. Roca e Sullivan (2020), estão de acordo com a sua proposta e defendem que vários fatores devem ser considerados antes de embarcar sobre a adoção da I4.0. Dentro dos contextos da literatura, os estudiosos têm usado 3 termos para definir a adoção da I4.0: a implementação das tecnologias, o engajamento das empresas e a disponibilidade de recursos (YÜKSEL, 2020). Outro ponto também levantando por esses autores é a real importância dos funcionários e o porte da empresa nessa adoção. Acredita-se que funcionários competentes estão entre os fatores mais importantes para o sucesso dessa transformação, juntamente com o porte da empresa que possibilita maior poder aquisitivo e de compra (GLASS *et al.*, 2018).

Segundo o levantamento teórico realizado, ainda não se conhece o efeito dessas variáveis no processo de adoção das tecnologias da I4.0 e quais impactam mais significativamente nas organizações (KAMBLE *et al.*, 2018). Para reduzir os riscos e falhas desse novo modelo industrial Luthra e Mangla (2018), sugerem discussões práticas para investigar as principais dificuldades no processo de implantação da I4.0. Sung (2018) alerta que os modelos tradicionais não se encaixam nas tecnologias

emergentes, sendo essencial para o setor entender as inter-relações entre elas para ajudar os profissionais da indústria a superá-las.

Com base na discussão emergente sobre a integração da I4.0, esta dissertação tem como objetivo principal avaliar o impacto das barreiras vivenciadas no processo de adoção da I4.0. O método de pesquisa proposto foi o *survey*, com utilização do questionário para coleta de dados. A partir do feedback foi realizada a análise e tratamento quantitativo dos dados por meio da análise fatorial e regressões múltiplas que visam validar o modelo estrutural proposto.

Os resultados dessa pesquisa serão úteis para entender a realidade das empresas brasileiras, ao identificar o impacto das variáveis na adoção da I4.0. As descobertas podem auxiliar os profissionais e os formuladores de políticas a compreenderem de forma detalhada esse novo modelo industrial e as dificuldades que impedem sua implementação. Além disso, a estrutura e o poder de dependência de condução das variáveis podem ajudar a entender seus relacionamentos, facilitando a construção de uma plataforma de manufatura inteligente, válida, operacional e sustentável. É interessante ressaltar que o estudo é o primeiro a propor um modelo estrutural de relacionamentos entre as barreiras de implementação da I4.0 pela percepção das empresas brasileiras, através da análise fatorial e regressão múltipla.

1.2 Problema de pesquisa

Desde 2011, quando foi anunciada, a I4.0 inspirou uma série de programas governamentais e privados em todo o mundo se mostrando um campo de pesquisa emergente (KAMBLE *et al.*, 2018). Contudo, segundo Raj *et al.* (2019), o progresso das empresas caminha a passos lentos e está limitado devido aos vários desafios na implementação da I4.0. Pesquisas indicaram que a implementação do setor 4.0 é um processo complexo, no qual as empresas estão enfrentando diversos problemas ao implementá-lo.

Apesar das muitas vantagens prometidas pelo setor 4.0, ainda há um ar de incerteza em relação à sua adoção. Para Kamble *et al.* (2018), o debate científico sobre esse tema ainda está em andamento e mais pesquisas são necessárias antes que um consenso possa ser alcançado. A primeira razão por trás disso é a falta de pesquisa focada, abordando os vários aspectos da implementação da I4.0. Horváth *et al.* (2019)

argumentam que a literatura da I4.0 é fragmentada e geralmente foca apenas em um fator, e vários estudos são limitados ao lado tecnológico.

Segundo Raj *et al.* (2019), as poucas pesquisas científicas realizadas sobre as barreiras de implementação da I4.0 não são suficientes para descrever a sua complexidade. A academia exige mais pesquisas exploratórias, inclusive sobre os inibidores da implementação em nível nacional (MOGOS *et al.*, 2019). Apenas os trabalhos de Dalenogare *et al.* (2018) e Júnior (2018), tratam as barreiras brasileiras. Todavia, as metodologias de pesquisa se restringem a um estudo de caso e uma análise descritiva. Na literatura os artigos encontrados são na maior parte baseados em revisão bibliográfica e *survey*, como por exemplo, os trabalhos de Sousa *et al.* (2018) e Sung (2018). Entretanto, os resultados apresentados por esses artigos não são generalizáveis já que as análises realizadas são baseadas em um número limitado de especialistas. Para generalização dos resultados da pesquisa, mais respostas de vários setores poderiam ser coletadas e analisadas (ROCA E SULLIVAN 2020; YÜKSEL 2020)

Outro *gap* encontrado na literatura é a inexistência de estudos comparando a causalidade e a dependência das barreiras de adoção da I4.0 em diferentes contextos econômicos. Os estudos que examinam essas diferenças são vitais, pois as empresas que possuem unidades em diferentes países, em que as condições econômicas são diferentes, desejam implementar as tecnologias da I4.0 em todas as suas organizações (RAJ *et al.*, 2019). Luthra e Mangla (2018) sugerem que os estudos futuros sejam realizados em diferentes países, e propõe que os desafios sejam examinados mais detalhadamente. Além disso, segundo Kamble *et al.* (2018), os autores também precisam desenvolver uma estrutura conceitual detalhada desses desafios. Como outra lacuna do referencial tem-se que os trabalhos pesquisados não estabelecem uma relação hierárquica entre as barreiras. Para Raj *et al.* (2019), os estudos adicionais podem usar análise fatorial para validar o modelo desenvolvido estatisticamente e permitir uma comparação com os resultados dos estudos anteriores.

1.3 Objetivos

Objetivo Geral

Esta dissertação busca avaliar o impacto das barreiras vivenciadas pelas organizações na adoção da I4.0.

Objetivo Específicos

1. Identificar as barreiras existentes na literatura;
2. Propor um modelo estrutural para representar as barreiras de adoção da I4.0 com base na literatura.

1.4. Justificativa

Segundo Kamble *et al.* (2018), a I4.0 oferece maior valor agregado aos produtos e sistemas de fabricação, integrando tecnologias emergentes na fabricação e serviços. Para Horváth e Szabó (2019), ela é definida como uma área crucial a ser desenvolvida dentro das organizações, com grande potencial de alavancar a fabricação para a era digital e sustentável. Tendo em vista essas vantagens, Luthra e Mangla (2018) ressaltam em seu trabalho ser necessário que as empresas busquem desenvolver um ecossistema que seja propício a essas novas práticas. Sung (2018) alerta que os modelos tradicionais de negócios de manufatura não se encaixam nas tecnologias emergentes, sendo essencial para o setor identificar as barreiras de implementação e entender as interrelações entre elas para ajudar os profissionais da indústria a superá-las.

Para reduzir os riscos e falhas desse novo modelo industrial, a partir de uma discussão prática e detalhada, o trabalho apresentado busca investigar as principais barreiras no processo de adoção da I4.0. O objetivo em geral é identificar as barreiras que existem nas empresas brasileiras e determinar as áreas mais importantes de demanda de suporte para as organizações participantes, sobre uma visão que abrange os diferentes tamanhos de empresas e setores industriais. Ao final, como contribuição pretende-se estabelecer a relação entre as barreiras de implementação da I4.0.

Além de fornecer uma base teórica para entender as barreiras de adoção da I4.0, a pesquisa examina também o relacionamento entre as barreiras, utilizando para isso a análise fatorial e a regressão múltipla. O conhecimento e resultados obtidos por meio dessas análises poderão auxiliar os engenheiros de processo e os gerentes a se concentrarem em operações cruciais para o desenvolvimento sustentável dos negócios. Além disso, ao identificar o relacionamento dessas barreiras, a pesquisa colabora para a elaboração de uma estratégia de mitigação de erros, buscando levar a uma implementação gradativa da I4.0.

1.5. Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em cinco seções além desta breve introdução. A seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica, que traz a base teórica na qual este trabalho foi construído (DALENOGARE *et al.*, 2018; DE SOUSA *et al.*, 2018; GLASS *et al.*, 2018; SUNG, 2018; SCHUMACHER *et al.*, 2016a). Na seção 3 é explicitada a metodologia utilizada para a execução e sustentação do presente trabalho (MOGOS *et al.*, 2019; RAJ *et al.*, 2019; HAMZEH *et al.*, 2018; KAMBLE *et al.*, 2018; LUTHRA *et al.*, 2018; LICHTBLAU *et al.*, 2015). A seção 4 trata da caracterização das empresas estudadas e seu ecossistema. A seção 5 apresenta as análises e resultados encontrados com o estudo. E, por último, a seção 6 retrata as conclusões obtidas com a pesquisa e propostas de novos trabalhos.

2. Revisão da Literatura

Este capítulo busca apresentar estudos realizados sobre o tema Revoluções Industriais e os fundamentos teóricos da I4.0. Consiste na revisão de literatura existente, expondo as principais abordagens conceituais sobre o cenário atual da I4.0, sua origem, as características e peculiaridades, as barreiras identificadas e a definição de adoção. Por fim é apresentado o modelo estrutural proposto e suas definições, construído a partir dessa revisão.

2.1 Revolução Industrial e os Fundamentos Teóricos da I4.0

A primeira revolução industrial ocorreu na Europa com a introdução de instalações de produção mecânica a partir da segunda metade do século XVIII. A produção mecânica se intensificou ao longo do século XIX, revolucionando a maneira como as mercadorias eram produzidas anteriormente e foi impulsionado pelo surgimento de motores a vapor energia hidráulica e mecanização (GALATI e BIGLIARDI, 2019). A partir da década de 1870, a eletrificação e a divisão do trabalho levaram à segunda revolução industrial, marcando o início das linhas de montagem e produção em série dos EUA por Henry Ford (LIAO *et al.*, 2017; HERMANN *et al.*, 2016). A terceira revolução industrial, também chamada de "revolução digital", surgiu na década de 1970, quando a eletrônica avançada e informações tecnológicas desenvolveram ainda mais a automação da produção. Nesse momento, as máquinas não

apenas assumiram uma proporção substancial de "trabalho manual", mas também faziam parte do "trabalho intelectual" (GHOBAKHLOO, 2018). Com o avanço da Internet e da inteligência robótica, surgiu um novo conceito de produção responsável pela união do mundo real e do virtual: iniciou a era da quarta revolução industrial (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Utilizado pela primeira vez em 2011, na feira de Hannover na Alemanha, o termo I4.0 é abordado como um projeto estratégico de alta tecnologia que busca promover a fabricação alemã e aumentar suas vendas (DASSISTI *et al.*, 2018; SUNG, 2018). Apresentado como uma nova etapa industrial, o projeto permite o gerenciamento de informações e estratégias de negócios, com base em um sistema de integração de dados, o que facilita a otimização das operações em tempo real (HORVÁTH E SZABÓ, 2019; TELUKDARIE *et al.*, 2018; CARICATO, PIERPGRIECO *et al.*, 2017).

A nova etapa de reestruturação de cenários industriais pode ser vista também como a convergência de vários conceitos emergentes e novas tecnologias, como identificação por radiofrequência (RFID), big data, computação em nuvem, sensores inteligentes, aprendizado de máquina, robótica, fabricação aditiva, inteligência artificial, realidade aumentada, e a Internet das Coisas (IOT; RAJ *et al.*, 2019; HAMZEH *et al.*, 2018). A adoção de técnicas que visam aumentar a conectividade, automação e digitalização de processos industriais permite maior flexibilidade das cadeias; aumenta significativamente seu potencial produtivo; e exerce impactos financeiros, de sustentabilidade e de segurança em seus processos (RUIZ-SARMIENTO *et al.*, 2020).

2.2 Empresas brasileiras no cenário da indústria 4.0

A grande parte da indústria nacional ainda se encontra em transição do que seria a Indústria 2.0 (caracterizada pela utilização de linhas de montagem e energia elétrica) para a Indústria 3.0 (que aplica automação através da eletrônica, robótica e programação). Relatos apresentados por Júnior (2018) apontam um baixo número de empresas brasileiras com nível avançado de digitalização em seus processos. Segundo o autor, os relatórios da Confederação Nacional da Indústria (CNI) apontam que, dos 24 setores industriais brasileiros, 14 estão digitalmente atrasados. Esses setores representam 40% de toda produção industrial brasileira, isto indica que quase metade de

tudo que é produzido no Brasil não é fabricado dentro de uma realidade digital/tecnológica.

No estudo produzido pela Cornell University (2018), avaliando índice de inovação de um país, o Brasil foi classificado na 64^o posição entre 126 países. Dentro da região latino-americana, o país subiu da 11^o posição em 2017, para a 6^o colocação em 2018. Entretanto, na escala global ainda não conquistou uma posição de destaque, havendo ainda uma queda na participação da indústria de transformação no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro no período de 2016/2017 (JÚNIOR, 2018).

A indústria brasileira de maneira geral apresenta baixos índices de produtividade, segundo pesquisa da CNI em 2016. Esses resultados mostram uma desorganização do processo produtivo da indústria do Brasil, sendo que este é um requisito básico para aplicação dos conceitos da quarta revolução industrial. O problema de produção industrial destacado, atrelado a falta de qualificação da mão de obra nas fábricas, tem prejudicado a competitividade do país em âmbito global (RIBEIRO, 2018). Para estarem aptas para ingressar no cenário da Indústria 4.0, as empresas brasileiras precisam retomar o investimento no setor e modernizar suas estruturas, amadurecer seus processos produtivos e criar modelos de negócio adequados.

Nos últimos anos, contudo, houve um interesse crescente na “inteligência das fábricas”, por parte das empresas Brasileiras (RIBEIRO, 2018). No Brasil, não existem instruções normativas e documentos legais relacionados com as questões de formação de Indústria 4.0, além da falta de incentivo governamental e de parceiros para programas de financiamento. O relatório apresentado por Júnior (2018) fornece um resultado de que 48% das empresas do Brasil utilizam pelo menos uma tecnologia digital em suas atividades e mais de 50% das empresas brasileiras estão interessadas no uso de vantagens da I4.0 para modernização e apoio para a competitividade global do seu negócio.

2.3 Visão geral da literatura existente sobre as barreiras da indústria 4.0

A investigação de barreiras relacionadas à implementação da I4.0 permanece amplamente inexplorada na literatura (KAMBLE *et al.*, 2018). As poucas análises encontradas são feitas de forma fragmentada e a maioria dos estudos é baseada em discussão conceitual, revisões de literatura, estudos de caso e análises descritivas. Como

exemplo, sobre as revisões de literaturas, observa-se os trabalhos de Sousa *et al.* (2018), Schumacher *et al.* (2016) e Sung (2018). O primeiro busca ter uma discussão prática e detalhada da I4.0 e sugere ações políticas para a transição da I4.0 na Coreia. O segundo busca determinar se a I4.0 pode ou não impulsionar sinergicamente a fabricação sustentável. Já o terceiro propõe um modelo para avaliar a maturidade da I4.0 de empresas industriais no domínio da manufatura discreta. Esses estudos apresentam como limitação o fato de construírem sua base de pesquisa apenas em uma revisão de literatura e relatórios de governos e institutos de pesquisa, não fornecendo estatísticas detalhadas e confiáveis para o progresso real da I4.0.

Os trabalhos que apresentam como metodologia *survey* (MOGOS *et al.*, 2019; HAMZEH *et al.*, 2018; LICHTBLAU *et al.*, 2015) e análises estruturais (RAJ *et al.*, 2019; KAMBLE *et al.*, 2018; LUTHRA *et al.*, 2018), em geral, estudaram a maturidade das empresas para aplicação da I4.0 em diferentes nacionalidades. Entretanto, as barreiras foram analisadas apenas individualmente e geralmente de uma perspectiva tecnológica ou de um processo. Como exemplo, tem-se o trabalho de Luthra e Mangla (2018), em que apenas as barreiras relacionadas ao conceito de sustentabilidade da cadeia de suprimento foram abordadas.

Apenas três artigos foram encontrados analisando as barreiras das empresas brasileiras, quais sejam, Júnior (2018), Dalenogare *et al.* (2018) e Tortorella *et al.* (2020). O primeiro apresenta como metodologia um estudo de caso no setor de criação animal, avaliando a maturidade para inserção em ambiente da I4.0 por parte dessa empresa. O segundo trata de uma análise e regressão, que busca entender os benefícios esperados de tecnologias relacionadas à I4.0 para o desempenho industrial no Brasil. Já o terceiro busca entender qual é o impacto da adoção das tecnologias I4.0 no desenvolvimento de capacidades de aprendizagem Organizacional.

A ausência de trabalhos como o de Glass *et al.* (2018) e Genest *et al.* (2021), validando a significância das barreiras identificadas na literatura para as empresas alemãs, serve como um balizador para a atual realidade do cenário das pesquisas envolvendo as empresas brasileiras. Raj *et al.* (2019) também destacam a carência de estudos voltados para análise comparativa das barreiras percebidas pelos especialistas na implementação da I4.0 em diferentes ambientes institucionais (MASOOD *et al.* 2020; YÜKSEL 2020). Para Bakhtari *et al.* (2020), faltam estudos que detalhem os desafios e barreiras para a implementação da Indústria 4.0 na manufatura indústrias.

Segundo Horváth *et al.* (2019), os estudos que examinam essa diferença são vitais, pois as empresas que operam em uma variedade de países com condições econômicas diferentes desejam implementar as tecnologias da I4.0 em todas as unidades do grupo.

Para analisar a literatura relacionada a I4.0 e as suas barreiras, foi elaborada a tabela 1, que mostra um resumo dos artigos encontrados, juntamente com seus objetivos e metodologias de pesquisas utilizadas.

Tabela 1: Resumo da revisão de literatura

Autores	Resumo	Metodologia	Dados
Raj <i>et al.</i> (2019)	Examina as barreiras de implementação das tecnologias da I4.0 no setor de manufatura no contexto de economias desenvolvidas e em desenvolvimento.	Modelagem estrutural interpretativa (ISM)	França e Índia
Horváth <i>et al.</i> (2019)	Explora como os principais executivos interpretam o conceito da I4.0, as forças motrizes para a introdução de novas tecnologias e as principais barreiras à I4.0.	Estudo de caso qualitativo	União Europeia
Sousa <i>et al.</i> (2018)	Investiga se a I4.0 pode ou não impulsionar sinergicamente a fabricação ambientalmente sustentável.	Revisão de Literatura e proposições futuras	Não identificado
Luthra <i>et al.</i> (2018)	Analisa os principais desafios para a I4.0 relacionados a sustentabilidade da cadeia de suprimentos em economias emergentes.	Análise fatorial explicativa (EFA) e processo de hierarquia analítica (AHP)	Índia
Kamble <i>et al.</i> (2018)	Analisa as possíveis barreiras que prejudicam as organizações de manufatura de adotar a Indústria 4.0.	Estruturas interpretativas de modelagem (ISM)	Índia
Mogos <i>et al.</i> (2019)	Analisar a maturidade da digitalização de empresas da Noruega.	Survey e análises de frequência	Noruega
Glass <i>et al.</i> (2018)	Analisa quais são os desafios da I4.0 mais relevantes para a indústria alemã.	Análise de hipóteses	Alemanha
Sung (2018)	Estudo da I4.0 de maneira mais detalhadas e prática.	Revisão de literatura	Coréia

Hamzeh <i>et al.</i> (2018)	Estudo da I4.0 para a fabricação local da Nova Zelândia.	Survey e análise descritiva	Nova Zelândia
Lichtblau <i>et al.</i> (2015)	Examina a prontidão da I4.0 nas empresas.	Revisão da literatura, survey e análise descritiva.	Alemanha
Júnior (2018)	Apresenta um modelo de maturidade para inserção em ambiente da I4.0 para empresas de países em desenvolvimento.	Estudo de caso	Brasil
Schumacher (2016)	Proposto um modelo para avaliar a maturidade da I4.0 de empresas industriais no domínio da manufatura discreta.	Revisão de literatura e análise qualitativa	Não identificado
Dalenogare <i>et al.</i> (2018)	Estudo dos benefícios esperados de Tecnologias relacionadas à I4.0 para desempenho industrial no Brasil.	Análise de regressão	Brasil
Tortorella <i>et al.</i> (2020)	Caminhos de aprendizagem organizacional baseados na adoção da indústria 4.0: Um estudo empírico com fabricantes brasileiros	Análise de regressão	Brasil
Bakhtari <i>et al.</i> (2020)	Desafios de implementação da indústria 4.0 na manufatura Indústrias: uma abordagem de modelagem estrutural interpretativa	Modelagem Estrutural Interpretativa (ISM)	Não identificado
Yüksel (2020)	Uma avaliação empírica das aplicações da indústria 4.0 de empresas em Turquia: o caso de um país em desenvolvimento	Survey e análise descritiva	Turquia
Roca e Sullivan (2020)	Buscando coerência entre as barreiras para a adoção de tecnologia de manufatura e política de inovação	Estudo de caso qualitativo	Não identificado
Benitez <i>et al.</i> (2020)	Ecosistemas de inovação da indústria 4.0: uma perspectiva evolutiva sobre co-criação de valor	Survey	Sul do Brasil
Masood <i>et al.</i> (2020)	Indústria 4.0: Desafios de adoção e benefícios para as PMEs	Revisão de literatura	Europa
Genest <i>et al.</i> (2021)	Pré-requisitos para à implementação da Indústria 4.0 na Manufatura PMEs	Revisão de literatura	Quebec

2.4 As barreiras da indústria 4.0

A I4.0 e suas tecnologias alteraram radicalmente o funcionamento das organizações, trazendo maior conectividade entre seus colaboradores e parceiros, com a promessa de gerar ganhos incalculáveis de produtividade e segurança. Diante de tantas modificações, o acompanhamento dessa nova revolução tornou-se cada vez mais complexo. A rapidez com que as transformações ocorrem no cenário industrial acabaram por dificultar o processo de gestão de mudança, exigindo um posicionamento mais dinâmico da cultura da empresa e de seus líderes (LEE *et al.*, 2014).

A literatura a respeito das barreiras da I4.0 ainda é bastante divergente quanto ao número de variáveis totais. O trabalho de Glass *et al.* (2018) faz grandes contribuições ao identificar as necessidades específicas das empresas industriais que implementam a Indústria 4.0 e sugere pontos de partida para alinhar o suporte necessário, sendo os desafios mais significativos: falta de padrões, trabalhadores qualificados e *know-how*.

O estudo de Raj *et al.* (2019) também colabora para a literatura, identificando e analisando essas barreiras no contexto de economias desenvolvidas e emergentes, um entendimento necessário para a implementação gradativa da I4.0. Os autores destacam em seu trabalho as dificuldades na difusão de informações tecnológicas e inovação, resultante da falta de políticas nacionais coordenadas sobre a I4.0 nos países em desenvolvimento. Segundo Ivanov *et al.* (2019), as barreiras relacionadas às tecnologias são mais perceptíveis em economias emergentes. Historicamente essas economias estão focadas na extração e comercialização de commodities e suas empresas estão frequentemente atrasadas em termos de adoção de tecnologia, em comparação com os seus semelhantes nos países desenvolvidos. Esse fato, segundo Raj *et al.* (2019), pode impedir que as empresas vivenciem completamente a revolução da I4.0.

Com base em uma revisão da literatura foi feito um levantamento das barreiras da I4.0, resumidas nas tabelas a seguir. As tabelas descrevem de forma detalhada quais foram as barreiras utilizadas por cada autor, e em seguida agrupam essas definições a uma variável sinônimo. As barreiras com maior número de citação entre os autores, foi a “formação e capacitação de funcionários” e “problemas de segurança e privacidade”, sendo utilizada por 10 dos 20 autores estudados. Os autores que citaram o maior número de variáveis foram Schumacher *et al.* (2016) e Luthra e Mangla (2018) com 10 citações

e Raj *et al.* (2019) com 9. A partir das barreiras identificadas foi feita a construção de um modelo estrutural.

Alinhamento estratégico

O alinhamento estratégico trabalha para homogeneidade das informações, fazendo com que todos os esforços sejam constantemente colocados sob a mesma direção, principalmente nas situações de ajustes ou modificações da estratégia (SOUSA *et al.*, 2018). A colaboração e a transparência de informação entre os membros da cadeia são fatores importantes para o desenvolvimento organizacional na era da I4.0. As políticas de implementação desses novos conceitos industriais devem garantir que haja a sincronização de todos os membros e que eles estejam alinhados estrategicamente, operando em busca dos mesmos resultados (RAJ *et al.*, 2019). Neste contexto, muitas empresas enfrentam grandes desafios, devido às restrições de recursos financeiros, tecnológicos e inseguranças com os dados compartilhados (KAMBLE *et al.*, 2018). A Tabela 2 apresenta a barreira “alinhamento estratégico”, com seus 2 termos equivalentes.

Tabela 2: Barreira alinhamento estratégico

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V01	Alinhamento estratégico	Alinhamento estratégico	Sousa <i>et al.</i> (2018)
		Falta de uma estratégia digital e escassez recursos	Raj <i>et al.</i> (2019)

Cultura Organizacional

A cultura organizacional é um dos fatores mais citados na literatura sendo geralmente descrita como uma tarefa prioritária nos projetos da I4.0. Para Schumacher *et al.* (2016), ela pode ser entendida como um padrão desenvolvido por um determinado grupo para lidar com problemas. Se esse padrão funcionou bem ao longo do tempo ele será transmitido através das gerações de funcionários. Para aproveitar o valor da I4.0, a cultura organizacional é uma questão que precisa ser analisada para promover uma mudança suave. É necessário que haja um ambiente que promova a inovação e esteja aberto à experimentação, contando com o apoio e presença das equipes internas. Sousa *et al.* (2018) complementam esse discurso, ao incentivar o empoderamento dos funcionários, por meio de práticas gerenciais que permitam aos funcionários desenvolver a autonomia e responsabilidade em inovar e, assim, desenvolver

proativamente comportamento de melhoria. A Tabela 3 apresenta a barreira “cultura organizacional”, com 3 termos equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 3: Barreira cultura organizacional

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V02	Cultura Organizacional	Cultura Organizacional	Hamzeh <i>et al.</i> (2018) Libório (2018) Dalenogare <i>et al.</i> (2018) Sousa <i>et al.</i> (2018)
		Falta de uma cultura corporativa	Lichtblau <i>et al.</i> (2015)
		Falta de cultura digital interno e para os conceitos da I4.0	Raj <i>et al.</i> (2019) Luthra <i>et al.</i> (2018)

Liderança e gestão

Aspectos de gerenciamento e liderança também são importantes barreiras entre os desafios emergentes da I4.0. Os trabalhos de Luthra *et al.* (2018) e Schumacher *et al.* (2016) estudaram intensamente o debate sobre liderança gerencial e seu impacto sobre o desempenho organizacional. Segundo os autores, o tipo de liderança adotado pode influenciar a implementação de tendências emergentes nas organizações de manufatura. A alta gerência tem a responsabilidade de prever oportunidades organizacionais para integração das tecnologias da I4.0 e sustentabilidade do sistema de produção existente, desempenhando assim um importante papel para a participação na atual revolução industrial. Para Sousa *et al.* (2018), a implementação dos princípios do setor 4.0 pode exigir um estilo de liderança transformacional, capaz de inspirar seguidores a ignorar seu próprio interesse a favor do bem da organização. A Tabela 4 apresenta a barreira de “liderança e gestão”, com 7 termos equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 4: Barreira liderança e gestão

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V03	Liderança e gestão	Vontade dos líderes	Schumacher (2016)
		Gestão da Mudança ineficaz	Raj <i>et al.</i> (2019)
		Liderança em gestão	Sousa <i>et al.</i> (2018)
		Competências e métodos de gestão	Schumacher (2016)
		Existência de coordenação central para I4.0	Schumacher (2016)
		Problema de coordenação e colaborações	Luthra <i>et al.</i> (2018)
		Falta de visão e liderança do topo gestão	Bakhtari <i>et al.</i> (2020)

Falta de padrão de arquitetura de referência

O design e a seleção de uma arquitetura I4.0 para diferentes aplicações têm sido um desafio significativo para as organizações. Por se tratar de um novo conceito sente-

se a falta de um padrão de arquitetura de referência, que mostre como realizar o processo de implementação da I4.0 (KAMBLE *et al.*, 2018). As poucas iniciativas encontradas na literatura, mostram que a I4.0 está sendo inserida por diferentes governos e empresas à sua maneira (BAKHTARI *et al.* 2020). Na maioria das vezes, as organizações empresariais estão enfrentando diferentes questões problemáticas na implementação efetiva da I4.0, de modo a não haver estratégias precisas de decisão durante essa transformação de negócios (LUTHRA *et al.*, 2018). A Tabela 5 apresenta a barreira “falta de padrão de arquitetura de referência”, com 1 termo equivalente encontrados na literatura.

Tabela 5: Barreira falta de padrão de arquitetura de referência

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V04	Falta de padrão de arquitetura de referência	Adequação de padrões tecnológicos	Kamble <i>et al.</i> (2018) Schumacher (2016)

Infraestrutura da empresa

O sistema industrial atual precisa ser altamente personalizado e atuar em um ambiente flexível para competir globalmente (LUTHRA *et al.*, 2018). Segundo Raj *et al.* (2019), a I4.0 exigiria a integração de todos os membros da cadeia, assim, uma infraestrutura digital é um fator que não pode ser ignorado. Nesse sentido, estabelecer a integração e interoperabilidade sem interrupções entre diferentes tecnologias e sistemas de rede é uma barreira significativa associada à implementação de soluções da I4.0. Segundo Kamble *et al.* (2018), as indústrias estão enfrentando dificuldades em projetar uma interface flexível para integrar vários componentes heterogêneos. A falta de soluções para uma comunicação eficaz e cobertura de sinal pode atuar como um bloqueio para vários produtos e serviços (LIBÓRIO 2018). Raj *et al.* (2019) relataram ainda que muitas empresas têm colaborado entre si em vez de competir em relação ao desenvolvimento de infraestrutura necessária para a I4.0. A Tabela 6 apresenta a barreira “infraestrutura da empresa”, com 3 termos equivalente encontrados na literatura.

Tabela 6: Barreira infraestrutura da empresa

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V05	Infraestrutura da empresa	Recursos disponíveis para realização	Schumacher (2016)
		Falta de infraestrutura	Raj <i>et al.</i> (2019)
			Luthra <i>et al.</i> (2018)
		Acesso à Tecnologia	Libório (2018)

Má qualidade dos dados existentes

Na Indústria 4.0, várias máquinas, sensores, sistemas e instalações de manufatura são interconectados para gerar dados. A qualidade desses dados é um dos principais requisitos nas tomadas de decisões de sucesso (LUTHRA *et al.*, 2018). A grande quantidade de dados gerados e a natureza complexa de tais dados, juntamente com sua heterogeneidade, tornam difícil medir a integridade e a precisão deles, aumentando o risco de falsas descobertas. Além disso, segundo Raj *et al.* (2019), como os dados mudam frequentemente e são compartilhados com vários colaboradores, a integridade e consistência dos dados representam uns dos principais desafios. A Tabela 7 apresenta a barreira “má qualidade da gestão de dados existentes”, com 2 termos equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 7: Barreira má qualidade dos dados existentes

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V06	Má qualidade da gestão de dados existentes	Desafios para garantir Qualidade de Dados Má qualidade dos dados existentes	Raj <i>et al.</i> (2019) Luthra <i>et al.</i> (2018)

Problemas de segurança e privacidade

A automatização e virtualização dos sistemas de manufatura representam ganhos incalculáveis de produção, mas a falta de confiança na segurança cibernética é um fator expressivo, que pode comprometer o desempenho e as estratégias organizacionais (BENITEZ *et al.*, 2020; MOGOS *et al.*, 2019). Para Luthra *et al.* (2018), os sistemas têm vulnerabilidades de segurança inerentes, que podem ser exploradas por invasores. Raj *et al.* (2019) abordam as preocupações das empresas com a cyber-segurança e o medo de perder seus dados para fornecedores de software e serviços de terceiros. A Tabela 8 apresenta a barreira “problemas de segurança e privacidade”, com 10 termos equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 8: Barreira problemas de segurança e privacidade

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V07	Problemas de segurança e privacidade	Proteção da propriedade intelectual	Kamble <i>et al.</i> (2018) Schumacher (2016)
		Risco de violações de segurança	Raj <i>et al.</i> (2019)
		Preocupações sobre a segurança cibernética	Horváth <i>et al.</i> (2019)
		Direito de propriedade intelectual	Mogos <i>et al.</i> (2019)
		Problemas de segurança de TI	Sung (2018)
		Problemas de segurança	Luthra <i>et al.</i> (2018)
		Riscos de segurança da informação	Dalenogare <i>et al.</i> (2018)
		Falta de confiança na segurança de dados	Lichtblau <i>et al.</i> (2015)
		Segurança de dados	Bakhtari <i>et al.</i> (2020)
	Risco para a segurança da informação	Benitez <i>et al.</i> (2020)	

Restrição financeira

Várias fontes (HORVÁTH *et al.*, 2019; MOGOS *et al.*, 2019; DALENOGARE *et al.*, 2018; JÚNIOR, 2018; KAMBLE *et al.*, 2018; LUTHRA *et al.*, 2018; LICHTBLAU *et al.*, 2015) sugeriram que a escassez de recursos financeiros também é um obstáculo significativo à implementação da I4.0. Raj *et al.* (2019) afirmam que a maioria das empresas ainda estão relutantes em investir na I4.0 devido às restrições financeiras e o alto custo de investimento tecnológico necessário. Seus relatórios mostram que as empresas com intenções de implementar as iniciativas da I4.0 teriam que aumentar em 50% os investimentos planejados anuais em capital para os próximos cinco anos. Isso implica afirmar que as empresas devem reavaliar suas estratégias existentes e contar com um investimento considerável para atingir as suas metas (BENITEZ *et al.*, 2020). A Tabela 9 apresenta a barreira “restrição financeira”, com 7 termos equivalente encontrados na literatura.

Tabela 9: Barreira restrição financeira

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V08	Restrição financeira	Alto custo de implementação	Kamble <i>et al.</i> (2018) Dalenogare <i>et al.</i> (2018)
		Alto investimento na I4.0	Raj <i>et al.</i> (2019) Bakhtari <i>et al.</i> (2020)
		Escassez de recursos financeiros	Horváth <i>et al.</i> (2019)
		Alto custo de investimentos	Mogos <i>et al.</i> (2019)
		Custos com Tecnologias	Libório (2018)
		Restrições financeiras	Luthra <i>et al.</i> (2018)
		Falta de recursos financeiros	Lichtblau <i>et al.</i> (2015) Benitez <i>et al.</i> (2020)

Falta de compreensão sobre os benefícios da indústria 4.0

Segundo Raj *et al.* (2019), os ganhos de produtividade e vantagens econômicas de gastos com tecnologia da informação sempre foram questionados. Para atuar nesse setor as empresas devem ter um entendimento claro sobre as nuances da implantação, ou seja, da criação, entrega e captura de valor. Entretanto, nos estudos sobre I4.0, a ênfase principal é dada à sua competência técnica e *know-how* (GLASS *et al.*, 2018), enquanto a discussão econômica ainda está engatinhando (MÜLLER *et al.*, 2018). Devido ao desconhecimento dos possíveis benefícios, a maioria das empresas é relutante em adotar as tecnologias baseadas na I4.0. Para a maioria das empresas a I4.0 ainda não é familiar, havendo incerteza sobre seus tópicos. Segundo Luthra *et al.* (2018) há pouco entendimento sobre as implicações da I4.0 entre os pesquisadores e praticantes. A literatura exige claramente mais pesquisas organizadas e focalizadas para uma definição da I4.0 e seus benefícios. A Tabela 10 apresenta a barreira “falta de compreensão sobre os benefícios da indústria 4.0”, com 7 termos equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 10: Barreira falta de compreensão sobre os benefícios da indústria 4.0

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V09	Falta de compreensão sobre os benefícios da indústria 4.0	Falta de sistemas de gestão do conhecimento	Kamble <i>et al.</i> (2018)
		Falta de clareza sobre Benefício Econômico	Raj <i>et al.</i> (2019) Dalenogare <i>et al.</i> (2018)
		Pouco conhecimento sobre os conceitos da I4.0	Mogos <i>et al.</i> (2019)
		Baixa compreensão sobre as implicações da Indústria 4.0	Luthra <i>et al.</i> (2018)
		Benefício econômico incerto de investimentos digitais	Luthra <i>et al.</i> (2018)
		Geral falta de clareza sobre I4.0 e hesitação	Glass <i>et al.</i> (2018)
		Riscos e falta de clareza de retorno sobre o investimento	Benitez <i>et al.</i> (2020)

Formação e capacitação de funcionários

Com a implementação da I4.0, as habilidades e qualificações da força de trabalho se tornarão a chave para sucesso de uma fábrica altamente inovadora. Nos últimos anos, as cadeias de produção estão se tornando globais e são caracterizadas por estruturas altamente complexas (SCHUMACHER *et al.*, 2016). Luthra *et al.* (2018) afirmam que o mercado exige que a força de trabalho deve ser treinada para conhecer os processos essenciais, suas dependências e interpretação de dados para aceitar a

digitalização no ambiente de fabricação. Raj *et al.* (2019) argumentam que muitas empresas admitem que não possuem os conhecimentos ou habilidades necessárias para realizar todo o potencial das tecnologias da I4.0. Para o autor a falta de habilidades digitais e de conhecimento paralisa a capacidade das empresas, já que suas forças de trabalho não têm o conhecimento necessário para usar o que estão comprando. Kamble *et al.* (2018) sugerem que as empresas se concentrem no desenvolvimento da força de trabalho pela gerência de recursos humanos. A promoção da capacitação dos funcionários também é citada por Raj *et al.* (2019). Para os autores é essencial que as empresas busquem formar equipes integradas em seus processos com especialistas de diferentes domínios. A Tabela 11 apresenta a barreira “formação e capacitação dos funcionários”, com 10 termos equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 11: Barreira formação e capacitação de funcionários

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V10	Formação e capacitação de funcionários	Capacitação Operacional	Libório (2018)
		Falta de conjuntos de habilidades adequadas	Sung (2018)
		Competências TIC dos colaboradores	Schumacher (2016)
		Competências	Kamble <i>et al.</i> (2018)
		Falta de profissionais capacitados	Benitez <i>et al.</i> (2020)
		Treinamento e capacitação	Sousa <i>et al.</i> (2018)
		Necessidade de habilidades aprimoradas	Kamble <i>et al.</i> (2018)
		Falta de educação e programa de treinamento de habilidades	Bakhtari <i>et al.</i> (2020)
		Falta de habilidades digitais	Raj <i>et al.</i> (2019) Horváth <i>et al.</i> (2019)
		Falta de especialização e trabalhadores qualificados	Glass <i>et al.</i> (2018) Dalenogare <i>et al.</i> (2018) Lichtblau <i>et al.</i> (2015)

Resistência à mudança

A resistência a mudança pode ser considerada uma característica sempre presente na vida organizacional e é citado por autores como Luthra *et al.* (2018) e Schumacher *et al.* (2016), como uma barreira a introdução da I4.0. A introdução de novas tecnologias afeta diretamente os procedimentos de trabalho e a forma que são realizados, exigindo novas habilidades dos seus colaboradores. Assim, resistência organizacional pode vir de funcionários com medo de perder o emprego ao longo do tempo ou não possuir as habilidades necessárias para as novas tecnologias (HORVÁTH *et al.*, 2019). Para Raj *et al.* (2019) esta pode ser a barreira mais poderosa, se a resistência a mudança não for tratada adequadamente, pode impedir a introdução bem-sucedida de novas tecnologias. Assim, percebe-se que mudar parece ser uma

competência organizacional necessária caso a empresa que deseje obter sucesso na implementação da Indústria 4.0. A Tabela 12 apresenta a barreira “resistência à mudança”, com 5 termos equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 12: Barreira resistência à mudança

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V11	Resistência à mudança	Resistência à mudança	Horváth <i>et al.</i> (2019)
		Comportamento relutante em direção Indústria	Luthra <i>et al.</i> (2018)
		Abertura de colaboradores a novas tecnologias	Schumacher (2016)
		Relutância geral em mudar	Sung (2018)
		Força de trabalho não aberta à digitalização	Lichtblau <i>et al.</i> (2015)

Falta de normas e regulamentos

A I4.0 tende a desenvolver uma abordagem completamente nova no sistema de produção interligando máquinas, seres humanos e organizações. Esse novo cenário surge trazendo consigo várias questões jurídicas complexas. As políticas e orientações governamentais são cruciais para desenvolvimento da I4.0 (Raj *et al.*, 2019). Segundo Luthra *et al.* (2018), há uma falta de definição e diretrizes governamentais sobre a I4.0 na maioria das economias. Para ajudar no desenvolvimento da I4.0, questões legais devem ser levadas em conta ao adotar procedimentos e ideias tecnológicas modernas. Leis relacionadas ao uso de dados e questões de privacidade e segurança também precisam ser consideradas no desenvolvimento dos novos modelos de negócios. Raj *et al.* (2019) ressaltam ainda que o avanço da tecnologia desafia continuamente os reguladores e legisladores. Segundo os autores, eles enfrentam dificuldades em assegurar os interesses dos clientes quando não estão adaptados às mudanças rápidas da tecnologia (BAKHTARI *et al.* 2020). Com isso, dada a carência de normas e regulamentos que garantam a segurança sobre o investimento aplicado, muitas empresas estão receosas em adotar as novas tecnologias em seus ambientes de trabalho (LICHTBLAU *et al.*, 2015). A Tabela 13 apresenta a barreira falta de normas e regulamentos, com 7 termos equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 13: Barreira falta de normas e regulamentos sobre os benefícios da indústria 4.0

Variável	Descrição	Termos ou expressões equivalentes	Autores
V12	Falta de normas e regulamentos	Falta de normas e padrões e questões legais não resolvidas	Lichtblau <i>et al.</i> (2015)
		Falta de normas técnicas	Dalenogare <i>et al.</i> (2018) Kamble <i>et al.</i> (2018)
		Incerteza legal e contratual	Hamzeh <i>et al.</i> (2018) Luthra <i>et al.</i> (2018) Schumacher (2016)
		Regulamentação trabalhista para I4.0	Dalenogare <i>et al.</i> (2018)
		Questões de conformidade regulamentar	Schumacher (2016)
		Falta de digital legislação	Bakhtari <i>et al.</i> (2020)
		Dificuldade em se ajustar às normas e regulamentos governamentais	Benitez <i>et al.</i> (2020)

2.5 Adoção da indústria 4.0

Adotar a I4.0 não é apenas uma questão de novas tecnologias, mas seu sucesso depende de aspectos organizacionais e gerenciais, indo desde a motivação e vontade de fazer acontecer, até os recursos disponibilizados (SONY, 2019).

A forma de avaliar a adoção da I4.0 ainda é um campo obscuro na literatura, além disso, os requisitos não são claramente definidos. Resta muita incerteza sobre essa conquista e os critérios e medidas de adoção da I4.0. Os autores que se arriscaram nesse tema, dentro dos contextos das suas literaturas, destacaram 3 termos para caracterizar esse fenômeno, sendo eles a implementação das tecnologias, o engajamento das empresas e a disponibilidade de recursos (YÜKSEL, 2020).

Dominar uma tecnologia de manufatura emergente é normalmente um processo lento e um grande desafio (ROCA E SULLIVAN, 2020). Nos estágios iniciais do processo de adoção da tecnologia, muitas vezes é complicado combinar certas configurações de processo. Por isso, para que seja considerado que uma empresa esteja em processo de adoção é necessário que ela tenha implementado, experimentado as tecnologias e que crie sistemas de incentivos, os quais garantam a continuação dessas ferramentas (GENEST *et al.* 2021).

Dalenogare *et al.* (2018) corroboram com essas afirmações ao formular os cinco fatores que afetam a adoção e difusão de uma inovação, deixando claro que apenas a experimentação será capaz de proporcionar sua relativa vantagem em relação à tecnologia existente. Essas características interagem com a afirmativa de Yüksel (2020), na qual declara que as empresas que estão engajadas na adoção da I4.0 podem buscar vantagens de pioneirismo para que no futuro desfrutem do domínio de mercado.

Mas para que as organizações consigam implementar essas tecnologias e mantenham-se engajadas nesse processo, os autores Roca e Sullivan (2020), determinam em seus trabalhos alguns fatores que afetam o nível de adoção da I4.0, sendo eles: o porte da empresa e o nível hierárquico dos funcionários. Para Yüksel (2020), eles serão um dos mais importantes ingredientes para alavancar a adoção das organizações para a I4.0.

Os desafios enfrentados durante a adoção das tecnologias da I4.0 mostram que a adaptação organizacional e gerencial, juntamente com a formação dos profissionais é muito importante para alcançar altos níveis de adoção, logo as empresas devem ser devidamente preparadas (YÜKSEL, 2020).

Já o autor o Schröder (2017) acredita na relação entre o porte da empresa e a adoção da I4.0. Empresas maiores têm maior integração de tecnologias de informação em instalações de manufatura do que pequenas e médias empresas. Sommer (2015) confirma essa hipótese em uma revisão sistemática de nove estudos. O autor concluiu que existe uma relação clara entre o tamanho da empresa e a prontidão das empresas para fazer uso das tecnologias capacitadoras da I4.0. Em resumo, a literatura aponta 3 perguntas para ver o nível do processo de adoção da I4.0 que são apresentadas na tabela 14.

Tabela 14: Variáveis do constructo adoção

Variável	Descrição	Autores
VC1	A empresa tem implementado as tecnologias da I4.0 em seus processos?	Sony (2019) Yüksel (2020) Roca e Sullivan (2020)
VC2	A empresa está engajada na implementação das tecnologias da indústria 4.0?	Sony (2019) Yüksel (2020) Dalenogare et al. (2018)
VC3	A empresa possui os recursos (humanos, financeiro, infraestrutura e prestadores de serviço) necessários para implementação das novas tecnologias da I4.0?	Sony (2019) Yüksel, (2020)

2.6 Modelo estrutural proposto e suas definições

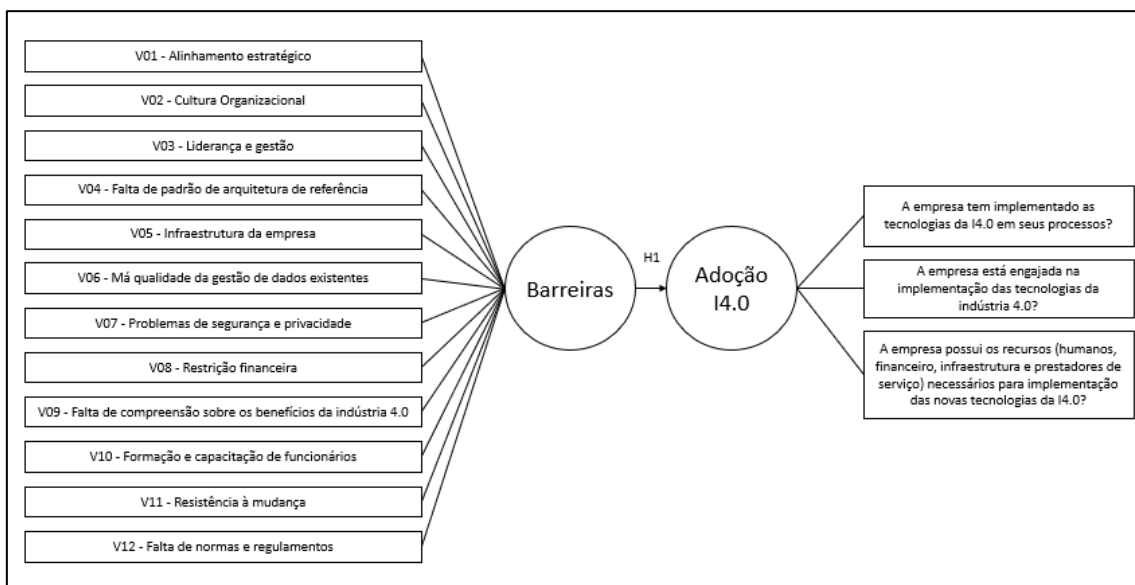
A sinergia produtiva entre a I4.0 e sua implementação depende da compreensão do papel desempenhado por essas 12 variáveis (LUTHRA E MANGLA, 2018; RAJ *et al.*, 2019; SCHUMACHER *et al.*, 2016). Essas variáveis foram identificadas a partir de uma profunda revisão de literatura e devem ser cuidadosamente considerados pelas

organizações. A relação entre as barreiras e adoção compreende o modelo estrutural proposto neste trabalho, representados a seguir pela figura 1.

Foi utilizada a regressão linear múltipla para verificar se as barreiras encontradas na literatura afetam a adoção. Para cada categoria foram levadas em consideração as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula HO: As barreiras afetam positiva e significativamente a adoção de tecnologias da I4.0.

Figura 1: Modelo estrutural



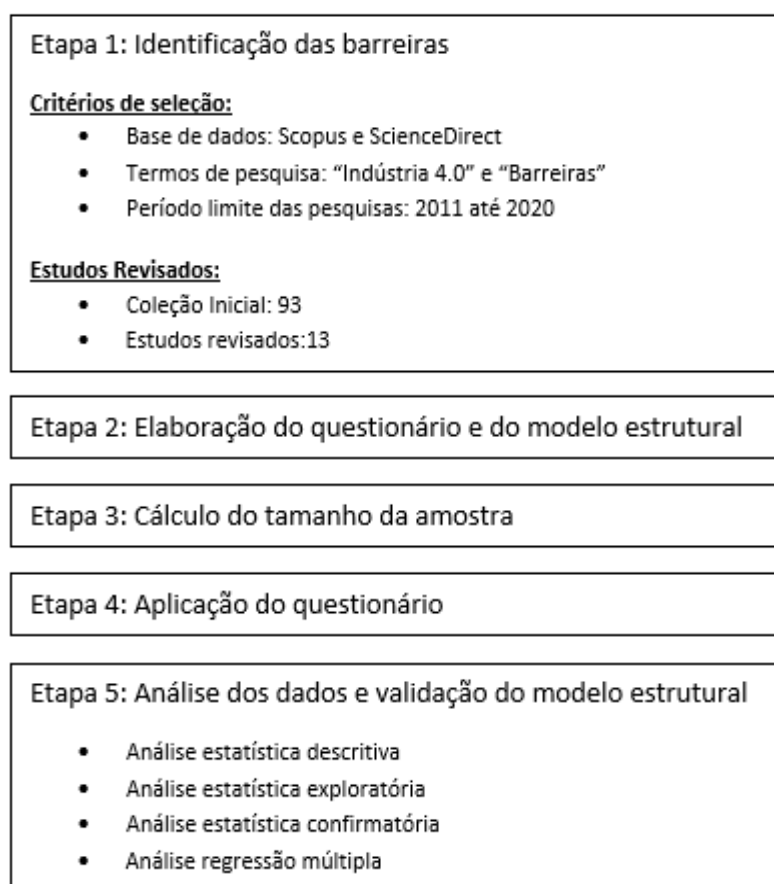
3. Metodologia

Para melhor entendimento e aprofundamento do tema, a elaboração do trabalho parte de uma pesquisa quantitativa com a utilização de um *survey*. O *survey* é uma forma de coletar dados a partir de opiniões de grupos de indivíduos, em que o resultado encontrado, pode ser extrapolado para todo o universo estudado (Rossini *et al.*, 2019). Os dados obtidos foram utilizados em modelos matemáticos, com o objetivo de identificar os fatores primordiais para a ocorrência de algum fenômeno. Esses fatores estão representados pelas variáveis relacionadas às barreiras da I4.0, visando identificar as relações entre as mesmas e quais de fato estão impactando esse setor.

A metodologia proposta compreende cinco etapas para análise das barreiras de implementação da I4.0. Na primeira etapa, foi feita a identificação das barreiras a partir

dos estudiosos citados na literatura. Na segunda etapa, a partir das barreiras identificadas foram elaborados o modelo estrutural e o questionário. Na terceira etapa, foi feito o cálculo do tamanho da amostra. A quarta etapa, contempla a aplicação do questionário. Na quinta etapa, foi feita a análise estatística com os resultados obtidos dos questionários, como forma de identificar as principais barreiras e validar a construção do modelo estrutural proposto, usando o método de análise fatorial e regressão. A figura 2 resume as 5 etapas da metodologia.

Figura 2: Metodologia



Etapa 1: Identificação das barreiras

Para melhor entendimento e aprofundamento do assunto abordado, a elaboração do trabalho iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre os temas: I4.0 e suas barreiras. A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio dos bancos de dados de publicações Scopus e ScienceDirect com contribuições nos campos da engenharia, produção, logística e negócios. Nessas bases de dados, foram pesquisados artigos e textos que abordam os termos “indústria 4.0”, ou “barreiras”, em seus títulos, palavras

chaves e resumos. Ao todo foram catalogados 93 artigos sendo todos escritos em inglês. Após a leitura da parte introdutória de cada artigo foi realizado um novo filtro para um refinamento de conteúdos mais pertinentes ao objeto de estudo, ao qual restaram 13 artigos abordando as barreiras da indústria 4.0.

Etapa 2: Elaboração do questionário e do modelo estrutural

As hipóteses levantadas na revisão de literatura foram utilizadas na construção do questionário de pesquisa que está dividido em duas etapas. Na primeira, é feito o detalhamento das organizações, que busca obter informações como forma de descrever as organizações, em relação aos seus setores, regiões e porte. Na segunda, essas variáveis são classificadas utilizando uma escala Likert de 5 pontos para descrever o quão essas variáveis impactam na adoção da I4.0. Os dados provenientes dos questionários foram examinados mais detalhadamente por meio do procedimento estatístico, conhecido como análise fatorial.

Etapa 3: Cálculo do tamanho da amostra

Para realizar as análises estatísticas, é necessário que o tamanho da amostra seja adequado para validação dos resultados. Na literatura são destacadas três regras para cálculo da amostra. Na Regra 100 - o número de entrevistados deve ser cinco vezes maior que o número de variáveis incluídas no questionário. Para Regra 150 - o tamanho da amostra deve estar entre 150 e 300. Já a regra 200, o tamanho da amostra não pode ser inferior a 200 casos (Luthra e Mangla, 2018). Em nosso estudo, foi utilizada a regra 100, definindo um tamanho de amostra superior ou igual a 80 (16 variáveis x 5).

Etapa 4: Aplicação do questionário

Ao finalizar a revisão, o questionário foi postado na plataforma de formulários do google e seu link enviado por e-mail e para as redes sociais para trabalho, como por exemplo o *LinkedIn* para empresas e gestores. As entrevistas buscaram entender melhor os cenários dessas organizações, sobre como está ocorrendo o processo de transição para indústria 4.0, destacando as dificuldades e barreiras.

Etapa 5: Análise dos dados e validação do modelo estrutural

A seção de análise dos dados foi feita por meio da análise fatorial e regressão que está dividida em três passos: análise estatística descritiva, exploratória e, por último,

a análise confirmatória. Todos esses passos foram realizados por meio dos softwares estatísticos SPSS® e SmartPLS®. A etapa da análise descritiva buscou entender a distribuição dos dados por meio dos indicadores: média, desvio-padrão e assimetria. A etapa da análise descritiva busca entender a distribuição dos dados por meio dos indicadores: média desvio-padrão e assimetria. A média é o valor para o qual se concentram os dados estudados, o desvio padrão mensura a distância entre os valores da média. A assimetria e a curtose representam a distribuição dos dados no gráfico histograma. Quando os dados são alocados de forma equivalente para os dois lados, a distribuição é dada como simétrica, já para valores com grandes diferenças nos indicadores média, mediana e a moda, a distribuição é dada como assimétrica. A curtose é responsável por apresentar o achatamento da curva da distribuição.

A etapa da análise exploratória busca analisar e validar as variáveis que compõe cada constructo da pesquisa, buscando a redução delas. Utiliza-se para o estudo os indicadores KMO (Medida Kaises-Meyer-Olkin de adequação de amostragem) e o Alfa de Cronbach. A análise confirmatória buscou comprovar a diferença entre os constructos por meio da validade discriminante, avaliando a correlação dos mesmos (Luthra e Mangla, 2018). Essa técnica fornece uma análise mais aprimorada que busca reduzir o número de variáveis a um conjunto de fatores que possuem a mesma representatividade das variáveis originais, validando o modelo estrutural proposto (ROSSINI *et al.*, 2019). Validado os constructos foi feita a análise de regressão múltipla utilizando o método “por etapa”. Esse método baseia-se em critérios matemáticos para seleção das variáveis. A partir dessas análises são identificadas as principais barreiras relacionadas a adoção da I4.0 e será validado o modelo estrutural proposto.

4. Apresentação dos dados

Neste capítulo serão apresentados os dados e as análises realizadas nesse trabalho. A seção 4.1 abordará a caracterização da amostra, seguida da análise fatorial exploratória e confirmatória. E por último, na seção 4.5 a regressão múltipla.

4.1 Caracterização da amostra

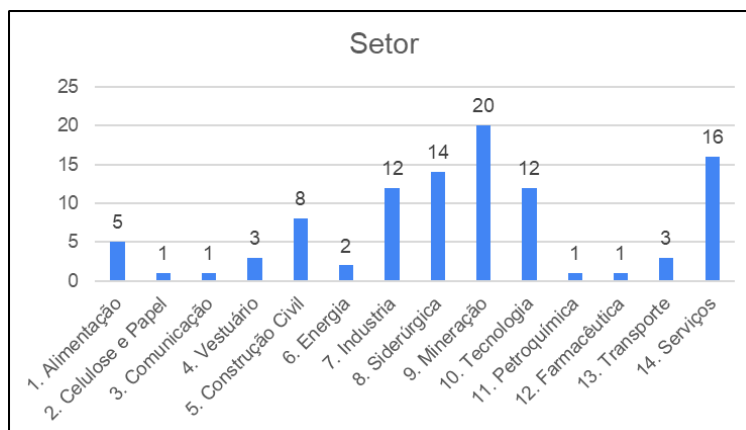
Em relação a caracterização da amostra, de acordo com o cálculo estabelecido era esperado um número de 80 entrevistas, mas devido a boa repercussão do questionário online a aplicação ocorreu sobre uma amostragem aleatória de 99

respondentes, número esse alcançado após a limpeza dos dados, onde foram retiradas um total de 20 respostas incompletas ou que não se encaixavam no cenário a ser estudado.

A primeira pergunta do questionário era relacionada ao porte das organizações, no qual 68% representavam empresas de grande porte (acima de 500 funcionários) e 31% micro e médio empresas (19 – 499 funcionários). Além do porte, o setor de atuação e as tecnologias utilizadas pelas empresas também foram consideradas na entrevista.

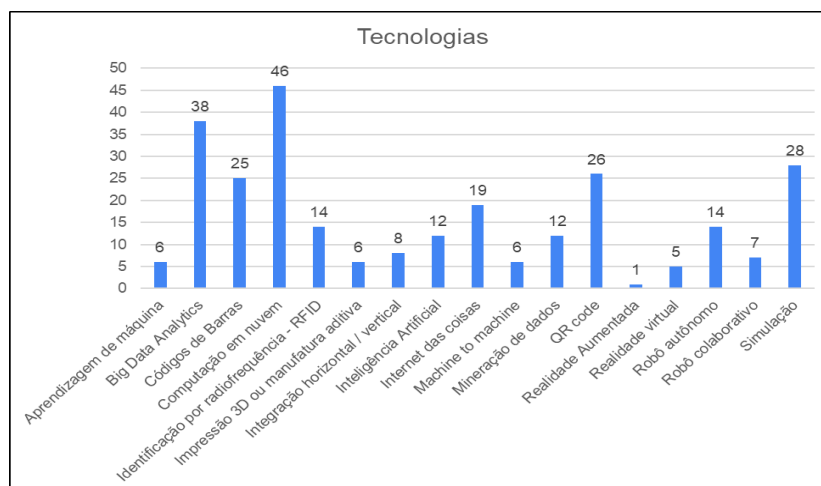
A distribuição entre a classificação do setor se mostrou bem homogenia. O setor com maior representatividade foi a mineração (20%), seguido do setor de serviços (16%) e siderurgia (14%). A figura 3 representa através de um gráfico de barras os setores em que as empresas entrevistadas estão inseridas.

Figura 3: Distribuição Setor



Outro dado interessante é que grande parte das empresas entrevistadas focaram em aplicar as tecnologias relacionadas a análise de dados. Em primeiro lugar veio a computação em nuvem (46%), seguido de big data (38%) e, por último, a simulação (28%). A figura 4 ilustra a distribuição das tecnologias por meio do gráfico de barras.

Figura 4: Distribuição Tecnologia



O próximo item a ser avaliado foi o cargo dos entrevistados. Esse fator foi dividido em dois grupos: operação e gestão. O grupo operação representou 42% da amostragem, sendo nesse grupo contabilizados os respondentes de cargo técnico, analista e supervisores operacional. Já o grupo de gestão representou 57% da amostragem, abrangido os cargos de coordenação, engenheiro, gerente e diretor.

As saídas do Minitab® mostraram que tanto a curva representando a distribuição do porte (média 1,68; moda 2) como a do cargo (média 1,57; moda 2) do entrevistado tiveram comportamentos simétricos. Isso quer dizer que a média, moda e mediana tiveram valores próximos ou igual para esses itens, mostrando uma boa distribuição dos dados. A tabela 15 a seguir e as figuras 3 e 4, resume todas essas informações.

Tabela 15: Caracterização da amostra.

Porte	Quantidade	Total	Média	Des. P	Moda	Assimetria	Curtose
Micro/ Média 19 - 499 colaboradores	31	99	1,68	0,496	2	- 0,311	- 1,94
Grande empresa acima de 500 colaboradores	68						
Cargo entrevistado	Quantidade	Total	Média	Des. P	Moda	Assimetria	Curtose
Operação	42	99	1,57	0,466	2	0,217	-0,818
Gestão	57						

4.2 Análise descritiva das variáveis do modelo

A avaliação segundo a ótica dos usuários é utilizada como parâmetros de medidas para os gestores, informando-os sobre as barreiras e a adoção da I4.0. A partir dos resultados encontrados, novas estratégias poderão ser traçadas pela organização, o que pode levar à uma adoção mais suave, permitindo o planejamento adequado.

Nesse tópico, será demonstrada a percepção dos respondentes em relação as barreiras e a adoção da I4.0, atentando-se aos principais indicadores utilizados pela literatura encontrada. O questionário utilizou 12 atributos para classificar as barreiras e 3 variáveis para classificar a adoção da I4.0, descritos a seguir pela Tabela 16. Para cada variável classificada como barreira foi realizado a análise descritiva por meio do software SPSS.

Tabela 16: Análise descritiva das variáveis do modelo

Construto	Variável	Média	Desvio Padrão	Variância	Assimetria	Curtose
Barreiras	V01	4,13	0,88	0,78	-0,97	0,83
	V02	4,19	1,04	1,09	-1,26	1,04
	V03	3,90	1,19	1,43	-0,99	0,102
	V04	3,53	1,16	1,35	-0,48	-0,40
	V05	3,62	1,20	1,44	-0,50	-0,86
	V06	3,73	1,29	1,66	-0,74	-0,55
	V07	4,12	1,13	1,29	-1,05	0,08
	V08	3,84	1,22	1,49	-1,00	0,14
	V09	3,49	1,35	1,84	-0,53	-0,92
	V10	3,49	1,35	1,84	-0,56	-0,92
	V11	3,64	1,24	1,55	-0,61	-0,64
	V12	2,91	1,21	1,4	0,05	-0,78
Adoção	VC1	4,40	0,72	0,52	-0,79	-0,68
	VC2	3,86	0,81	0,66	0,24	-1,45
	VC3	3,86	0,82	0,68	0,25	-1,50

As variáveis do construto barreiras apresentaram uma média geral de 3,7, que segundo a escala *Likert* de cinco pontos utilizada, demonstra concordância sobre o a importância daquela barreira. Os valores referentes a variância demonstram uma baixa dispersão dos dados em relação à média, a maior variância registrada foi das variáveis V09 e V10, com um valor de 1,84. Em relação a assimetria as variáveis V01; V02; V03; V04; V05; V06; V07; V08; V09; V10; V11; possuem uma cauda direita (valores acima da média) mais prolongada. Já a variável V12, possuem uma cauda esquerda (valores abaixo da média) mais pesada. Quanto à curtose, as variáveis V04; V05; V06; V09; V10; V11; V12 apresentaram a função de distribuição mais "achatada" que a distribuição normal.

As variáveis em relação à adoção, apresentaram uma média geral de 4. Os valores referentes a variância demonstram uma baixa dispersão dos dados em relação à média para os quais, a maior variância registrada foi das variáveis VC3, com um valor de 0,68. Em relação a assimetria a variável VC1; possui uma cauda direita mais pesada e variáveis VC2; VC3, possuem uma cauda esquerda mais pesada. Quanto a curtose as três variáveis apresentaram a função de distribuição mais "achatada" que a distribuição normal.

Após a coleta de dados, eles foram estruturados de acordo com a aplicação da técnica estatística multivariada análise fatorial para realização das análises. Utilizou-se o software SPSS, para empregar tal técnica estatística.

4.3 Análise fatorial exploratória

O objetivo em utilizar a análise fatorial é obter um modelo reduzido, menos complexo, em relação ao número de variáveis originais do problema. As novas variáveis obtidas, chamadas de fatores, são formadas por meio de combinações lineares entre as variáveis originais. Desta forma, o primeiro passo do método é definir quantos fatores o modelo terá.

O critério utilizado para seleção do número de fatores foi por meio do percentual de variabilidade acumulado explicado pelo conjunto de fatores. Definiu-se que o modelo obtido deveria explicar, no mínimo, 60% da variabilidade dos dados. Para constatar a aplicabilidade da análise fatorial para este conjunto de dados, foram realizadas análises por meio do Software SPSS referente aos testes KMO, teste de esfericidade de *Bartlett*, à Matriz de Correlação, à Matriz de *Loadings*, *Communalities* e Score, seguidos do gráfico *Scree Plot*. O primeiro grupo de variáveis a ser analisado foi o grupo representando as barreiras, seguido do grupo representando a adoção.

4.3.1 Análise fatorial exploratório grupo barreiras

A tabela 17, apresenta o resumo da análise exploratória do constructo barreira. Segundo a análise, o constructo é formado pelas 12 variáveis, como mostra os dados compilados a seguir.

Tabela 17: Análise exploratória barreiras

Constructo	Var.	Correlação										Loading	KMO	Teste Bartlett	% Var	Alpha de cronbach	
Barreiras	V01	V01.	V02.	V03.	V04.	V05.	V06.	V07.	V08.	V09.	V10.	V11.	0,728				
	V02	0,576*											0,519				
	V03	0,415	0,601										0,702				
	V04	0,435	0,476	0,622*									0,652				
	V05	0,315	0,383	0,495	0,569*								0,496				
	V06	0,582*	0,370	0,441	0,536*	0,562*							0,717				
	V07	0,318	0,289	0,369	0,429	0,348	0,37						0,358	0,887	<0,001	62%	0,914
	V08	0,422	0,493	0,737*	0,653*	0,572*	0,53	0,586*					0,774				
	V09	0,174	0,356	0,6*	0,528*	0,384	0,244	0,384	0,574*				0,742				
	V10	0,326	0,471	0,776*	0,554*	0,44	0,384	0,384	0,739*	0,69*			0,746				
	V11	0,337	0,513*	0,58*	0,61*	0,374	0,335	0,477	0,666*	0,592*	0,616*		0,663				
	V12	0,208	0,421	0,366	0,485	0,447	0,389	0,295	0,478	0,425	0,401	0,498	0,388				

*P_value < 0.05

A primeira etapa da análise avalia os valores do teste KMO e o teste de esfericidade de Bartlett, que indicam o grau de ajuste dos dados a análise fatorial. Para interpretação dos resultados obtidos valores de KMO próximos de 1 indicam que o método de análise fatorial é perfeitamente adequado para tratamentos dos dados. Por outro lado, valores menores que 0,5 indicam a inadequação do método. Nesse caso o valor obtido foi de 0,887, o que nos mostra uma boa adequação no tratamento com o método citado.

Já o teste de esfericidade de Bartlett é baseado na distribuição estatística de Qui-quadrado, e testa a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, isto é não há correlação entre as variáveis. Valores de significância maiores do que 0,1 indicam que os dados não são adequados para o tratamento com o método em questão, já valores menores que o indicado permite rejeitar a hipótese nula. O valor de significância do teste de Bartlett mostrou-se muito pequeno o que permitem a possibilidade de adequação do método de análise fatorial para o tratamento dos dados.

A segunda etapa é analisar a matriz de correlação. A matriz de correlação busca verificar se a correlação existente entre as variáveis é significativa, a ponto de apenas um fator conseguir representar grande parte da variabilidade dos dados. Para que uma correlação seja considerada significativa, as correlações simples entre os pares de variáveis devem possuir um valor próximo a 1 ou a -1. Além disso, é necessário que a análise do seu p -valor (nível de significância) retorne um valor menor que 0,05. Por meio das saídas do SPSS foi possível constatar que todas as correlações são significativas, com p -valor $< 0,05$. Analisando o coeficiente de Person, a grande parte apresentou uma correlação moderada. Apenas as correlações entre a variável V3-V8; V3-V10; V8-V10 são descritas como uma correlação fortes positivas, ou seja, quando uma variável aumenta a outra também aumenta.

Garantida a correlação das variáveis é realizado o método das componentes principais. Essa análise transforma um conjunto de variáveis correlacionadas em um conjunto de variáveis independentes. Como saída tem-se o percentual da variância que os fatores são capazes de explicar e o percentual acumulado dessa variância. Nesse caso, foram retidos 2 fatores com autovalor superior a 1 (6,264 e 1,221), que explica cerca de 62% da variabilidade total. O próximo passo é analisar as cargas fatoriais de cada variável em relação aos componentes extraídos. Para evitar o problema de indeterminação da relação entre variável e fatores, a mesma variável não pode

contribuir para a construção de fatores distintos. Apenas a variável 1 contribui para construção da componente 2. Além do fator explicar a maior parte da variabilidade dos dados, as variáveis são melhor carregadas também no fator 1 (os *loadings* das variáveis no fator 1 são maiores do que nos outros fatores). Dessa forma, o fator 1 pode ser utilizado para reduzir as variáveis, sendo o agrupamento indicado pela saída do *software*. Comprovando o que já havia sido estabelecido pelas análises anteriores.

4.3.2 Análise Fatorial Exploratória grupo Adoção

A tabela 18, apresenta o resumo da análise exploratória do constructo adoção. Segundo a análise, o constructo é formado pelas 13 variáveis, como mostra os dados compilados a seguir.

Tabela 18: Segunda Análise exploratória adoção

Constructo	Var.	Correlação	Loading	KMO	Teste Bartlett	% Var	Alpha de cronbach
Barreiras	VC1	V01. V02.	0,58				
	VC2	0,576*	0,599	0,625	<0,001	64%	0,727
	VC3	0,415 0,513*	0,766				

*P_value < 0.05

Ao realizar o teste KMO e o teste de esfericidade de Bartlett para o grupo representando a adoção observou-se que a análise fatorial é perfeitamente adequada para tratamentos dos dados. O KMO obtido foi 0,625 e o valores de significância foi menor do que 0,1 o que indica a adequação do método.

A matriz de correlação, juntamente com os valores de *p_valor*, foi gerada para as 3 variáveis selecionadas para o estudo. As saídas mostram que todas as variáveis possuem *p_valor*<0,05 e suas correlações estão entre 0,3 e 0,5 o que caracteriza uma relação moderada.

A partir do método de análise de componentes principal foi retido 1 fator com autovalor superior a 1 (1,945), que explica cerca de 64% da variabilidade total. Em relação aos valores extraídos, a porcentagem de variância de cada variável explicada pelos fatores comuns é maior que 50% em todos os casos. Isso mostra que, de acordo com a análise das comunalidades, as três variáveis possuem boa correlação com o fator gerado.

Outra ferramenta utilizada para extração de fatores é o gráfico *scree plot*. A partir da representação gerada por esse gráfico, a quantidade de fatores a ser abordado nesse trabalho ficou definida como 1.

4.4 Análise Confirmatória

A análise confirmatória busca comprovar a diferença entre os constructos por meio da validade discriminante avaliando a correlação deles. O primeiro passo foi construir o modelo com os constructos e as variáveis restantes da análise exploratória (considerando as 12 variáveis). Após montado o modelo, foram rodados os dados e dois relatórios são gerados PLS Algorítimo e *Bootstrapping*.

A primeira saída é o relatório da validade discriminante. Na matriz apresentada, os valores contidos na diagonal são a raiz quadrada da AVE (variância média extraída), como esses são maiores que os valores contidos fora da diagonal, a validade discriminante foi confirmada. Outra análise realizada foi a confiabilidade e validade do constructo (*composite reliability*), que deve apresentar valor superior a 0,7, e a variância média extraída (*average variance extracted - AVE*) que deve apresentar valores superiores a 0,5. Ambos os critérios são confirmados com valores acima do recomendado.

O relatório *Cross Loadings* é também apresentado, nele são analisados os valores da diagonal principal e das cargas cruzadas. Para que a validade convergente seja confirmada os valores da diagonal devem ser próximos a 0,5 e os valores das cargas cruzadas devem ser inferior ao valor presente na diagonal. A tabela 19 resume a saída da primeira análise.

Tabela 19: Análise confirmatória saída 1

Const.	Variável	Barr eiras	Adoção
	V01	0,278	
	V02	0,554	
	V03	0,801	
	V04	0,57	
	V05	0,296	
Barr eiras	V06	0,202	x
	V07	0,54	
	V08	0,789	
	V09	0,8	
	V10	0,857	
	V11	0,773	
	V012	0,392	
	VC1		0,605
Adoção	VC2	x	0,877
	VC3		0,863
Alfa de Cronbach		0,914	0,726
Confiabilidade composta		0,863	0,831
Variância Média Extraída		0,377	0,627

De acordo com os dados apresentados na tabela 19, o constructo barreiras apresentou uma variância média extraída muito baixa (0,377) e o p_valor maior que 0,05. Ao analisar os *loadings*, a variável que apresentou menor carga foi a V06 (0,202), sendo ela excluída do modelo e nova análise é realizada. A tabela 20 resume os dados da nova análise realizada sem a variável V06.

Tabela 20: Análise confirmatória saída 2

Const.	Variável	Barreiras	Adoção
	V01	0,4	
	V02	0,616	
	V03	0,848	
	V04	0,666	
	V05	0,422	
Barreiras	V07	0,585	x
	V08	0,856	
	V09	0,8	
	V10	0,882	
	V11	0,799	
	V012	0,474	
	VC1		0,547
Adoção	VC2	x	0,917
	VC3		0,826
Alfa de Cronbach		0,91	0,726
Confiabilidade composta		0,904	0,817
Variância Média Extraída		0,476	0,607

Novamente, a variância média extraída apresentou um valor abaixo do recomendado (0,476) e p_valor maior que 0,05. Ao analisar os *loadings*, a variável que apresentou menor carga foi a V01 (0,400), sendo ela excluída do modelo e nova análise é realizada, como mostra a tabela 21.

Tabela 21: Análise confirmatória saída 3

Const.	Variável	Barreiras	Adoção
	V02	0,628	
	V03	0,85	
	V04	0,673	
	V05	0,628	
Barreiras	V07	0,588	X
	V08	0,859	
	V09	0,795	
	V10	0,881	
	V11	0,8	
	V012	0,576	
	VC1		0,444
Adoção	VC2	X	0,919
	VC3		0,823
Alfa de Cronbach		0,911	0,726
Confiabilidade composta		0,909	0,817
Variância Média Extraída		0,511	0,607

A tabela 21 resume os dados da nova análise realizada sem a variável V01. Ambas as variâncias médias extraídas apresentaram um valor recomendado (0,511; 0,607). No entanto, o relatório apresenta ainda um p_valor maior do que 0,05. Devido a análise confirmatória não ser validada, foi necessário retirar a variável de menor *loadings*, V01. Uma nova análise foi realizada, como mostra a tabela 22.

Tabela 22: Análise confirmatória saídas 4

Const.	Variável	Barreiras	Adoção
	V02	0,637	
	V03	0,855	
	V04	0,685	
	V05	0,654	
Barreiras	V07	0,582	
	V08	0,862	X
	V09	0,8	
	V10	0,883	
	V11	0,8	
	V012	0,594	
Adoção	VC2		0,937
	VC3	X	0,806
Alfa de Cronbach		0,911	0,708
Confiabilidade composta		0,912	0,865
Variância Média Extraída		0,52	0,763

Diante dos dados apresentados, após o término da análise confirmatória, restaram no modelo apenas as variáveis V02, V03, V04, V05, V07, V08, V09, V10, V011, V12 no constructo barreiras e as variáveis VC2 e VC3 no constructo adoção. Os novos dados apresentados tanto para confiabilidade composta (0,912; 0,865), como para variância média extraída (0,52; 0,76) demonstraram ser adequado para análise. Além disso, todos os valores das cargas dos componentes foram próximos a 0,6 e o valor de p_valor menor que 0.05.

4.5 Análise do efeito das barreiras na adoção da I4.0

O principal objetivo de uma análise de regressão é descobrir se uma variável é capaz de prever a outra, e extrair um modelo matemático que represente essa relação. O modelo geralmente é composto por uma variável dependente, também chamada de variável de saída, que é a variável que se quer prever (y) e a variável independente, também chamada de previsores, utilizada para prever a dependente (x). Essa análise pode ser classificada como simples ou múltipla, sendo a principal diferença a quantidade de variáveis independentes.

É recomendado que o método de escolha das variáveis independentes e a ordem de inserção delas no modelo, seja baseado em razões teóricas e não em modelos matemáticos. O método baseado em razão teórica seria o método hierárquico descrito pela literatura revisada.

O software utilizado para essa análise foi o SPSS, e a função regressão linear. Foi adotado como variável dependente a variável adoção e as variáveis independentes foram inseridas na seguinte ordem: V02; V03; V04; V05; V07; V08; V09; V10; V11 e V012. A saída da regressão múltipla é resumida a seguir na tabela 23. O modelo gerado optou por excluir 7 das 10 variadas inseridas, sendo utilizadas apenas as variáveis V09, V05 e V08.

Tabela 23: Análise regressão linear

MLR	Dependente	Adoção		
		Adoção	Modelo 1	Modelo 2
V09	Coeficientes	0,223	0,316	0,199
	S.Er.	0,053	0,056	0,062
	P-Valor	0,027	0,003	0,091
V05	Coeficientes		-0,243	-0,36
	S.Er.		0,063	0,07
	P-Valor		0,023	0,03
V08	Coeficientes			0,283
	S.Er.			0,078
	P-Valor			0,034
N		99	99	99
F		5,057	5,369	4,643
R2		0,05	0,1	0,142
R2_a		0,04	0,081	0,115
S.Er.		0,709	0,694	0,681
P-Valor		0,027	0,023	0,034

A tabela 23 resume os dados dos modelos e nos permite uma melhor comparação entre eles. O valor de R representa a correlação entre a variável dependente e independente, já o R² indica a porcentagem de variação na variável dependente que é explicada pela variável independente. O ajuste do R² nos mostra essa variação com os valores padronizados, ou seja, o quanto a inserção dessas variáveis melhorou a previsão do modelo. Pela saída, nota-se que das 10 variáveis inseridas no modelo, apenas 3 realmente impactam a adoção e incluir essas variáveis melhorou a capacidade de prever a adoção em 11%. Como os p_valor dos 3 modelos foram menores que 0,05 isso

permite descartar a hipótese nula (H0), de que ajuste do modelo sem os previsores é igual ao ajuste do modelo com os previsores.

Para que esses dados sejam validados é analisado o valor do Durbin-Watson. Ele verifica a independência dos resíduos, e deve estar próximo a 1,5 até 2,5. Nesse caso, esse requisito também apresentou um valor aderente de 2,1.

A parte superior da tabela 23 representa os coeficientes, ou seja, os pesos das variáveis nos modelos. Nesse caso é utilizado o valor de beta, que é o coeficiente padronizado, o que facilita a comparação entre variáveis. Como todos apresentam p_valor próximo ou menor do que 0,05, então podem ser considerados relevantes para o modelo. O coeficiente mais significativo é a variável V08, com o maior coeficiente beta no valor de 0,283.

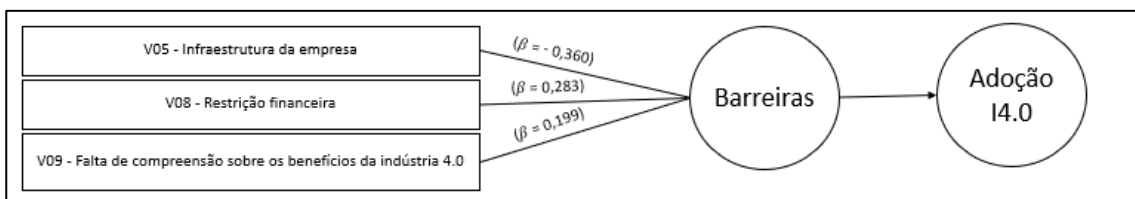
Outro requisito a ser analisado é a ausência de múltipla colinearidade. Isso significa que não se pode ter uma alta correlação entre as variáveis independentes. Como os testes mostraram valores de *Tolerance* maior que 0,1 e VIF menor que 10, esse requisito também foi aprovado, garantindo a não existência de múltipla colinearidade.

Esse trabalho utilizou a regressão linear múltipla para verificar se as barreiras descritas pela literatura são capazes de impactar na adoção da I4.0. A análise resultou em um modelo estático significativo [F (3,95) = 5,234; P = 0,002; R² = 0,142]. As variáveis V09 ($\beta = 0,199$; T = 1,706; P = 0,091); V05 ($\beta = - 0,360$; T = -3,093; P = 0,003) e V08 ($\beta = 0,283$; T = 2,155; P = 0,034) foram as únicas variáveis predictoras segundo a análise de regressão linear. As equações 1 e 2 descrevem a relação das barreiras com a adoção segundo a análise realizada é:

$$(1) Y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3$$

$$(2) \text{Adoção} = 3,642 + 0,106 * V09 - 0,217 * V05 + 0,167 * V08$$

Figura 3: Modelo estrutural final



Ao final da análise fatorial exploratória e confirmatória observa-se que existe uma relação entre 10 das 12 variáveis mapeadas na literatura. Já análise regressão mostrou que das 10 barreiras apenas 3 impactavam a adoção. Segundo o modelo, a restrição financeira é a variável mais relevante para adoção da I4.0, o que vai de acordo com a literatura revisada, que afirma que a maioria das empresas ainda estão relutantes em investir na I4.0 devido às restrições financeiras e o alto custo de investimento tecnológico necessário (KAMBLE *et al.* 2018).

O fator humano também é citado como um dos aspectos mais importante no processo de transição da indústria inteligente. Ao serem inseridas novas tecnologias no cenário de trabalho é necessário que haja um nível de maturidade e conhecimento dos equipamentos tecnológicos entre os membros da equipe e uma cultura que promova a inovação e o aprendizado por parte deles. Uma das principais barreiras para a implementação da I4.0 relaciona-se com funcionários que não estão dispostos a mudar a forma de funcionamento (LUTHRA *et al.* 2018). Esses funcionários resistem a utilização de novas tecnologias e as práticas a elas associadas. Essa resistência, pode estar ligada a incerteza sobre a avaliação clara dos benefícios e ganhos atrelados ao investimento em tecnologia, que geralmente aparecem em um longo prazo (BAKHTARI *et al.* 2020).

Outro fator importante é a infraestrutura da empresa (DALENOGARE *et al.* 2018). A plataforma da I4.0 opera sobre um sistema constante de fluxo de dados, de onde são extraídas e processadas informações relevantes. Para que uma organização opere dentro dos princípios da I4.0, a integração de todos os colaboradores da empresa é uma das partes mais relevantes. A adoção da I4.0 é uma decisão estratégica e deve estar alinhada com todos os envolvidos, o que requer uma disponibilidade e fluxo de dados constantes, tanto horizontal como verticalmente, entre organizações (BENITEZ *et al.* (2020). Por ser um novo conceito sente-se a falta de um padrão de arquitetura de referência, que mostre como realizar o processo de implementação da indústria 4.0. Com isso, a formação de uma arquitetura eficiente em toda a cadeia de suprimentos, que envolva desde os objetos, redes, serviços de dados e camadas de aplicativos torna-se mais difícil de ser implementada.

5. Conclusão

A presente pesquisa teve como objetivo principal avaliar o impacto das barreiras vivenciadas no processo de adoção da I4.0. Por meio da análise das respostas ao questionário de 99 empresas, foi possível validar o modelo estrutural proposto. Foi utilizado de modelos estatísticos para construir um modelo matemático que representasse a relação das barreiras mapeadas pela literatura com adoção da I4.0. Ao final da análise fatorial exploratória e confirmatória observa-se que existe uma relação entre 10 das 12 variáveis mapeadas na literatura. Já análise regressão mostrou que das 10 barreiras mapeadas apenas 3 podem ser consideradas previsoras para esse conjunto de dados, sendo elas: V05 - Infraestrutura da empresa; V08 - Restrição financeira e V09 - Falta de compreensão sobre os benefícios da indústria 4.0. Em geral, nossos resultados sugerem que das 12 variáveis mapeadas apenas 3 podem ser consideradas previsoras para esse conjunto de dados.

O resultado apresentado, sugere que para as empresas que estão interessados em adotar a I4.0, é necessário desenvolver uma cultura que estimule os benefícios da indústria. Além disso recursos financeiros e estruturais serão fundamentais para o sucesso dessa adoção.

Nossas descobertas fornecem *insights* relevantes para os formuladores de políticas e gerentes. Atualmente, os governos e empresas ao redor do mundo estão concentrando a maior parte de seus esforços para promover a inovação, mas ainda estão enfrentando grandes dificuldades. Devido à grande diversidade de barreiras para adoção, não existe uma solução única para todos. As combinações de políticas devem ser adaptadas a realidade socioeconômica de cada setor. Os gestores poderiam usar os resultados alcançados com a pesquisa como uma ferramenta básica para mapear e desafiar as barreiras percebidas.

Esta dissertação sofre das limitações típicas da pesquisa quantitativa. No âmbito desta dissertação, os dados apresentados não têm como objetivo transmitir o quadro completo da história. Mais pesquisas são necessárias para melhorar a compreensão sobre as barreiras para a adoção da I4.0 e como estas evoluem com o tempo.

Outro ponto a destacar, foi o aprendizado prático sobre as ferramentas e técnicas relacionadas à Engenharia de Produção, especificamente da área de Engenharia da

Qualidade e da Estatística. O que permitiu a aluna utilizar os conhecimentos adquiridos em sala de aula para prover percepções e compreensões a respeito de um problema real.

Por fim, sugere-se o prosseguimento deste estudo, visando ampliar os resultados obtidos. Futuramente, recomenda-se a utilização desse conteúdo como ponto de partida para o aperfeiçoamento da análise, buscando através de outras análises multivariadas, como por exemplo, a análise de Regressão com variáveis moderadoras para complementar o que já foi alcançando. Sugestão de trabalho futuro: analisar a influência do nível hierárquico (cargo) e porte da empresa nessa relação como variáveis moderadoras, buscando identificar se o tamanho da empresa afeta os benefícios e barreiras percebidas pelas empresas na implementação da I4.0, e se a utilização do porte da empresa, segmento industrial e nível da adoção das tecnologias como variável de controle afetaria o resultado.

REFERÊNCIAS

- Bakhtari et. al. (2020). Desafios de implementação da indústria 4.0 na manufatura
Indústrias: uma abordagem de modelagem estrutural interpretativa. *Procedia
Computer Science* 176 (2020) 2384-2393. <https://www.sciencedirect.com>
- Bendul, J. C., & Blunck, H. (2019). The design space of production planning and control
for industry 4.0. *Computers in Industry*, 105, 260–272.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.10.010>
- Benitez et. al. (2020). Ecosistemas de inovação da indústria 4.0: uma perspectiva
evolutiva sobre co-criação de valor. 0925-5273 / Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107735>
- Caricato, PierpGrieco, A., Gianfreda, D., Pesce, M., Rigon, V., Tregnaghi, L., &
Voglino, A. (2017). An Industry 4.0 Case Study in Fashion Manufacturing.
Procedia Manufacturing, 11(June), 871–877.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.190>
- Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., & Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0
readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in
Industry*, 107, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected
contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International
Journal of Production Economics*, 204(July), 383–394.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Dassisti, M., Giovannini, A., Merla, P., Chimienti, M., & Panetto, H. (2018). An
approach to support Industry 4.0 adoption in SMEs using a core-metamodel.
Annual Reviews in Control, xxxx, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2018.11.001>

de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Filho, M. G. (2018). When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132(January), 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.017>

Lichtblau, K., Prof. Stich, V., Dr. Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015). *Industrie 4.0 Readiness*. 1– 76.

Dubey, R., Gunasekaran, A., & Chakrabarty, A. (2015). World-class sustainable manufacturing: Framework and a performance measurement system. *International Journal of Production Research*, 53(17), 5207–5223. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1012603>

Galati, F., & Bigliardi, B. (2019). Industry 4.0 Emerging themes and future research avenues using a text mining approach. *Computers in Industry*, 109, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.018>

Genest et. al. (2021). Pré-requisitos para à implementação da Indústria 4.0 na Manufatura PMEs. 10.1016 / j.promfg.2020.10.170. D <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>

Glass, R., Meissner, A., Gebauer, C., Stürmer, S., & Metternich, J. (2018). Identifying GLASS, R. *et al.* Identifying the barriers to Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, v. 72, p. 985–988, 2018. the barriers to Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 985–988. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.187>

- Gobbo, J. A., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., & Carreño, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 372–382. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.017>
- Hamzeh, R., Zhong, R., & Xu, X. W. (2018). A Survey Study on Industry 4.0 for New Zealand Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 26, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.007>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2016-March, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146(March), 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829–846. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086>
- Júnior, L. de O. (2018). Modelo de maturidade para a indústria 4.0 para PME'S brasileiras: um estudo de caso em uma indústria de ração animal. [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4067/1/PB_PPGEPS_M_Oliveira Júnior%2C Libório_2018.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4067/1/PB_PPGEPS_M_Oliveira_Júnior%2C_Libório_2018.pdf)
- Kagermann, Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 WG, April.

- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101(May), 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.004>
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>
- Masood et. al. (2020). Indústria 4.0: Desafios de adoção e benefícios para as PMEs. Genest et. al. (2021). Pré-requisitos para à implementação da Indústria 4.0 na Manufatura PMEs. 10.1016 / j.procs.2020.09.306
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233(5), 1342–1361. <https://doi.org/10.1177/0954405417736547>
- Mogos, M. F., Eleftheriadis, R. J., & Myklebust, O. (2019). Enablers and inhibitors of industry 4.0: Results from a survey of industrial companies in Norway. *Procedia CIRP*, 81(2013), 624–629. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.166>

- Moldavska, A., & Welo, T. (2017). The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 744–755. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.006>
- Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability* (Switzerland), 10(1). <https://doi.org/10.3390/su10010247>
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Beatriz, A., Sousa, L. De, & Rajak, S. (2019). Barriers to the Adoption of Industry 4.0 Technologies in the Manufacturing Sector: An Inter-Country Comparative Perspective. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>
- Ribeiro, J. P. V. (2018). Proposta de adaptação de modelo de maturidade para avaliação de indústrias brasileiras em indústria 4.0. 1–83. http://bdm.unb.br/bitstream/10483/21161/1/2018_JoaoPedroViannaRibeiro_tcc.pdf
- Roca, Jaime Bonnin , Sullivan , Eoin O. (2019). Seeking coherence between barriers to manufacturing technology adoption and innovation policy. journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ijpe>
- Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G. L., & Portioli-Staudacher, A. (2019). The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9–12), 3963–3976. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03441-7>
- Ruiz-Sarmiento, J. R., Monroy, J., Moreno, F. A., Galindo, C., Bonelo, J. M., & Gonzalez-Jimenez, J. (2020). A predictive model for the maintenance of industrial machinery in the context of industry 4.0. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87(January 2019), 103289.

<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103289>

Sony, S. Naik, Critical Factors for the Successful Implementation of Industry 4.0: A Review and Future Research, *Production Planning and Control*, 2019, <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1691278>. Ahead-of-print

Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016a). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>

Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016b). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>

Sung, T. K. (2018). Industry 4.0 - A Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 132(November 2017), 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.005>

Telukdarie, A., Buhulaiga, E., Bag, S., Gupta, S., & Luo, Z. (2018). Industry 4.0 implementation for multinationals. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.030>

Tortorella et. al. (2020). Caminhos de aprendizagem organizacional baseados na adoção da indústria 4.0: Um estudo empírico com fabricantes brasileiros. *International Journal of Production Economics*. <https://www.elsevier.com/locate/ijpe>

Yüksel, Hilmi. (2020). An empirical evaluation of industry 4.0 applications of companies in Turkey: The case of a developing country. *journal homepage:* <http://www.elsevier.com/locate/techsoc>

APÊNDICE

1- Formulário de pesquisa

Principais Barreiras de adoção da indústria 4.0 por empresas brasileiras

O presente questionário faz parte do meu mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Ouro Preto. Ele tem como objetivo avaliar as principais barreiras enfrentadas pelas empresas durante a adoção de tecnologias da indústria 4.0. Ele está dividido em dois blocos: A) identificação do perfil dos respondentes e da empresa de atuação B) barreiras para a adoção das tecnologias da indústria 4.0. A duração média do questionário está compreendida entre 10 e 15 minutos. Os dados recolhidos serão mantidos no anonimato e utilizados apenas para fins acadêmicos. Para que este projeto de pesquisa seja alcançado com sucesso, a sua colaboração é imprescindível.

***Obrigatório**

1ª parte: Identificação do perfil dos respondentes e da empresa.

Por favor responda as questões abaixo, assinalando com um X na opção que mais lhe parece adequada.

1. Cargo entrevistado: *

Marcar apenas uma oval.

- 1- Técnico
- 2- Analista
- 3- Supervisor
- 4- Coordenador
- 5- Engenheiro
- 6- Gerente
- 7- Diretor
- Outro: _____

2. Nome da empresa: Caso não se sinta confortável, essa pergunta não é obrigatória. Os dados recolhidos serão mantidos no anonimato e utilizados apenas para controle.

3. Porte da empresa: *

Marcar apenas uma oval.

- 1- Microempresa 19 colaboradores
- 2- Pequena empresa 20 - 99 colaboradores
- 3- Média empresa 100 - 499 colaboradores
- 4- Grande empresa acima de 500

4. Setor: *

Marcar apenas uma oval.

- 1. Alimentação
- 2. Celulose e Papel
- 3. Comunicação
- 4. Vestuário
- 5. Construção Civil
- 6. Energia
- 7. Industria
- 8. Siderurgica
- 9. Mineração
- 10. Tecnologia
- 11. Petroquímica
- 12. Farmacêutica
- 13. Transporte
- 14. Serviços
- Outro: _____

5. 4- Tecnologias utilizadas: selecione de acordo as três tecnologias mais utilizadas pela empresa.

Marque todas que se aplicam.

	1° mais utilizada	2° mais utilizada	3° mais utilizada
Códigos de Barras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Identificação por radiofrequência - RFID	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
QR code	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Internet das coisas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sistemas ciberfísicos - CPS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Machine to machine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Big Data Analytics	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Computação em nuvem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Integração horizontal / vertical	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mineração de dados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Impressão 3D ou manufatura aditiva	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Robô autônomo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Robô colaborativo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gêmeos Digitais (Digital Twin)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Realidade Aumentada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Realidade virtual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simulação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inteligência Artificial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aprendizagem de máquina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

17. V12. As normas, regulamentos e/ou certificações por parte do governo contribuem para a adoção da indústria 4.0 na empresa. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

18. VC1 - A empresa tem implementado as tecnologias da indústria 4.0 em seus processos. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

19. VC2 - A empresa está engajada na implementação das tecnologias da indústria 4.0. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

20. VC3 - A empresa possui os recursos (humanos, financeiro, infraestrutura e prestadores de serviço) necessários para implementação das novas tecnologias da indústria 4.0 *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente