

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOSIANE LIMA DE ARAÚJO

IMPORTÂNCIA DAS OPORTUNIDADES E BARREIRAS PARA A
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS SUPERVISORES EM EMPRESAS COM
FOCO NA INDÚSTRIA 4.0

SÃO PAULO

2022

JOSIANE LIMA DE ARAÚJO

**IMPORTÂNCIA DAS OPORTUNIDADES E BARREIRAS PARA A
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS SUPERVISORES EM EMPRESAS COM
FOCO NA INDÚSTRIA 4.0**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção.**

Orientador: Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro

SÃO PAULO

2022

Araújo, Josiane Lima de.

Importância das oportunidades e barreiras para a implementação de sistemas supervisores em empresas com foco na indústria 4.0. /

Josiane Lima de Araújo. 2022.

75 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2022.

Orientador (a): Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro.

1. Sistema supervisor. 2. Indústria 4.0. 3. Oportunidades. 4. Barreiras. 5. Produtividade.

I. Sátyro, Walter Cardoso. II. Título

CDU 658.5

ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO

Ao décimo quinto dia do mês de dezembro de dois mil e vinte e dois, às 15h00, do programa de Pós-Graduação, desta Universidade, reuniu-se em sessão pública a Comissão Julgadora da dissertação de Mestrado de Josiane Lima de Araújo sob o título "Importância das Oportunidades e Barreiras com a Implementação do Sistema Supervisor em Empresas com Foco na Indústria 4.0".

Integraram a comissão os professores: Prof. Dr. Walter Cardoso Satyro (UNINOVE), o Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima (MACKENZIE), e o Prof. Dr. Renato Penha (UNINOVE) sob a presidência do primeiro, orientador da dissertação. A banca examinadora, tendo decidido aceitar a dissertação, passou à arguição pública do candidato. Encerrados os trabalhos, os examinadores deram parecer final sobre a dissertação.

Prof. Dr. Walter Cardoso Satyro

Parecer
Aprovada__

Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima

Aprovada __

Prof. Dr. Renato Penha

Aprovada __

Parecer:

A aluna foi considerada aprovada, devendo fazer as alterações sugeridas pela banca.

Em conclusão, a candidata foi considerada ___aprovada___, no grau de Mestre em Engenharia de Produção. E, para constar, eu, Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz, diretor do Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção, lavrei a presente ata que assino juntamente com os membros da banca examinadora.

São Paulo, 25 de dezembro de 2022.



Prof. Dr. Walter Cardoso Satyro



Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima



Prof. Dr. Renato Penha

Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz

Dedico este trabalho aos meus pais,
Nelson de Araújo e Eliane Maria Lima de
Araújo que acreditaram no meu
crescimento profissional e sempre
apoiaram meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela oportunidade de vida e por tantas coisas boas que me concedeu.

À Universidade Nove de Julho e à CAPES – PROSUP, pela bolsa de estudo, sem a qual não seria possível seguir com a pesquisa.

Ao meu orientador, Professor Dr. Walter Cardoso Sátyro por sua capacidade, honestidade e desenvoltura, além de todo o incentivo nessa longa jornada de estudo.

Aos professores (Dr. Carlos Roberto Camello Lima, Dr. Renato Penha) pelas valiosas contribuições.

Aos professores do PPGEF pelas valiosas contribuições.

Aos demais professores e colegas que compartilharam os seus conhecimentos e experiências.

A minha filha Nicolye, pela compreensão e motivação.

Ao Auro, meu companheiro de todas as horas, o meu agradecimento especial pelo amor, compreensão, incentivo e paciência.

Muito Obrigada!

RESUMO

Na era da Indústria 4.0, o ambiente enfrentado pelas indústrias encontra-se cada vez mais competitivo, com isso, a melhoria dos processos fabris e o aumento da produtividade são objetivos almejados pelas empresas, sejam elas, de pequeno, médio ou grande porte. Nesse cenário de necessidade por melhorias, destaca-se a implementação dos sistemas supervisores direcionados à Indústria 4.0, os quais possibilitam a identificação de problemas em tempo real, agilizando os processos corretivos e produtivos, além da diminuição do tempo de inoperância no quadro de produção, a redução de custos e o aumento na qualidade final do produto. Na literatura científica, apesar de serem identificadas pesquisas relacionadas à Indústria 4.0 com a implementação de sistemas supervisores, não se encontrou estudos direcionados a avaliar a importância das oportunidades e barreiras para a implementação do sistema supervisor em empresas com foco na indústria 4.0, denotando-se um gap de pesquisa. Diante disso, o objetivo principal do trabalho, referiu-se a estudar a importância dessas oportunidades e barreiras. Em específico, buscou-se avaliar em campo o grau de importância das oportunidades e barreiras identificadas na teoria. O método adotado foi a pesquisa de levantamento por amostragem (*sample survey*), com a avaliação de 55 especialistas, mediante aplicação de um questionário como instrumento de pesquisa. Os resultados foram validados por meio de análises estatísticas não-paramétricas de Kruskal-Wallis e Holm-Sidak, os quais comprovaram que o conhecimento do grau de importância das oportunidades e barreiras permite identificar a relevância das mesmas na implementação dos sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0, obtendo-se, assim, o ranqueamento dessas oportunidades e barreiras como resultado final do presente estudo, contribuindo para o desenvolvimento da Gestão da Tecnologia e Inovação em Engenharia de Produção.

Palavras-chave: Sistema Supervisor; Indústria 4.0; Oportunidades; Barreiras; Produtividade; Sistema Ciber-Físico *Big Data*; *Internet* das Coisas.

ABSTRACT

In the Industry 4.0 era, the environment faced by industries is increasingly competitive, thus, the improvement of manufacturing processes and increased productivity are objectives sought by companies, whether they are small, medium or large. In this scenario of need for improvements, the implementation of supervisory systems directed to Industry 4.0 stands out. These systems allow the identification of problems in real time, speeding up the corrective and productive processes, in addition to reducing downtime in the production board, reducing costs, and increasing the final quality of the product. In the scientific literature, despite the identification of research related to Industry 4.0 with the implementation of supervisory systems, no studies were found directed to evaluate the importance of opportunities and barriers for the implementation of the supervisory system in companies focused on Industry 4.0, denoting a research gap. Therefore, the main objective of this study was to study the importance of these opportunities and barriers. Specifically, we sought to evaluate in the field the degree of importance of the opportunities and barriers identified in theory. The method adopted was a sample survey, with the evaluation of 55 specialists, by applying a questionnaire as a research instrument. The results were validated through non-parametric statistical analysis of Kruskal-Wallis and Holm-Sidak, which proved that the knowledge of the degree of importance of the opportunities and barriers allows the identification of their relevance in the implementation of supervisory systems focused on Industry 4.0, thus obtaining the ranking of these opportunities and barriers as the final result of this study, contributing to the development of Technology Management and Innovation in Production Engineering.

Keywords: Supervisory System; Industry 4.0; Opportunities; Barriers; Productivity; Cyber-Physical System; Big Data; Internet of Things.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do Trabalho	17
Figura 2 – Conceitos da Indústria 4.0 e Suas Respectivas Características	22
Figura 3 - Pirâmide (ERP – MES – SCADA – Controle – Dispositivos de Campo)	25
Figura 4 - Gráfico de evolução das publicações ao longo dos anos	26
Figura 5 - Gráfico do número de publicações científicas por periódicos	27
Figura 6 - Gráfico dos métodos de pesquisa das publicações científicas	28
Figura 7 - Gráfico do número de publicações científicas por países	28
Figura 8 - Estrutura Conceitual	37
Figura 9 - Tipos de Pesquisas Científicas em Termos de Metodologias	38
Figura 10 - Fluxograma de Pesquisa do Método PRISMA	40
Figura 11 - Teste do Tamanho Mínimo da Amostra no G^*Power	46
Figura 12 - Análise Estatística Descritiva do Constructo “Oportunidades”	49
Figura 13 - Análise Estatística Não-Paramétrica do Constructo “Oportunidades”	51
Figura 14 - Classificação Ordenada do Grau de Importância das Oportunidades	52
Figura 15 - Análise Estatística Descritiva do Constructo “Barreiras”	54
Figura 16 - Análise Estatística Não-Paramétrica do Constructo “Barreiras”	56
Figura 17 - Classificação Ordenada do Grau de Importância das Barreiras	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1a - Sistemas Supervisores para Indústria 4.0 com base em Oportunidades.....	34
Quadro 1b - Sistemas Supervisores para Indústria 4.0 com base em Barreiras	35
Quadro 2 - Relação do conjunto de palavras-chave	42
Quadro 3 - Parâmetros e Definições Aplicáveis aos Testes Estatísticos Não-Paramétricos	44
Quadro 4 - Testes Não-Paramétricos, Tipo de Avaliação, Questões Vinculadas.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CPS	<i>Cyber-Physical System</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
MRP II	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.1.1 Formulação do Problema	14
1.2. OBJETIVOS	15
1.2.1. Objetivo Geral	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. JUSTIFICATIVAS PARA ESTUDO DO TEMA	16
1.4. DELIMITAÇÃO DO TEMA	16
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. INDÚSTRIA 4.0	18
2.2. SISTEMAS SUPERVISORES DE COLETA DE DADOS	22
2.3. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS	24
2.4. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM TERMOS DE EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS POR ANO	25
2.5. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM TERMOS DE NÚMERO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS POR PERIÓDICOS	26
2.6. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM TERMOS DE MÉTODOS DE PESQUISA DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS	27
2.7. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM TERMOS DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS POR PAÍSES	28
2.8. ANÁLISE DE CONTEÚDO DA LITERATURA SOBRE IMPLEMENTAÇÕES DE SISTEMAS SUPERVISORES – OPORTUNIDADES E BARREIRAS	29

2.9. DEFINIÇÃO DO MODELO CONCEITUAL COM BASE NA REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA	35
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	38
3.1. METODOLOGIA UTILIZADA	38
3.1.1. Revisão Bibliométrica e Análise de Conteúdo da Literatura Científica	39
3.1.2. Definição do Método de Pesquisa e Procedimento de Coleta dos Dados	42
3.1.3. Definição dos Testes Estatísticos e Procedimento de Análise de Dados	43
4. RESULTADOS	48
4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA E A ESTATÍSTICA NÃO-PARAMÉTRICA	48
4.1.1. Resultados da análise Estatística Descritiva Referente ao Constructo Oportunidades	48
4.1.2. Resultados da análise Estatística Não-Paramétrica Referente ao Constructo Oportunidades	49
4.1.3. Resultados da análise Estatística Descritiva Referente ao Constructo Barreiras	52
4.1.4. Resultados da análise Estatística Não-Paramétrica Referente ao Constructo Barreiras	54
5. DISCUSSÕES	58
6. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE 1	71

1. INTRODUÇÃO

Na era da quarta revolução industrial, as indústrias enfrentam um ambiente competitivo para o seu crescimento, precisando que haja melhoria dos processos fabris e o aumento da produtividade, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte, para se manterem competitivas no mercado (MORGAN *et al.*, 2021).

Ressalta-se que, três revoluções industriais precederam a atual quarta revolução industrial, as quais denotaram importantes contribuições para a chegada da Indústria 4.0, criando-se benefícios para a economia mundial e a implementação de novas tecnologias industriais. Nessas três revoluções anteriores, envolveram-se a introdução de processos mecânicos nas atividades fabris (Indústria 1.0), o uso da eletricidade e a criação de máquinas elétricas (Indústria 2.0), além do início da aplicação dos conceitos vinculados à informática e seus respectivos hardwares aplicados na indústria (Indústria 3.0) (SCHWAB, 2016; KAM; RIMMER, 2022).

O paradigma da Indústria 4.0, refere-se a um novo modelo de organização e controle de todo o processo fabril para a agregação de valores, buscando-se satisfazer uma demanda de produtividade e personalização dos processos de produção sob plataformas digitalizadas, transformando as atividades fabris tradicionais em processos inteligentes e em tempo real (ZHONG *et al.*, 2017).

Os principais embasamentos da Indústria 4.0 apontam que as empresas que interligam sistemas e máquinas, em tempo real, devem manter a propriedade de autonomia para a previsibilidade de falhas em seus processos, buscando corrigi-las, para fins de melhoria contínua da produtividade. A evolução e o aperfeiçoamento dessa capacidade de autonomia de predição eliminam barreiras tecnológicas e criam oportunidades que representam e configuram a quarta revolução industrial (SCHWAB, 2016).

Nesse cenário de avanços dos processos fabris e crescimento de produtividade na era da Indústria 4.0, evidenciam-se os sistemas supervisores, os quais proporcionam a supervisão em tempo real das máquinas no chão-de-fábrica, transformando as informações em dados gerenciáveis e múltiplos relatórios imediatos e simultâneos (JASKÓ *et al.*, 2020).

Há de se destacar, que os sistemas supervisores vinculados à quarta revolução industrial, também permitem a detecção de falhas nos processos fabris, diminuindo o tempo de inoperância das máquinas no chão-de-fábrica, além da mitigação de prejuízos financeiros com linhas de produções inoperantes, reduzindo barreiras e criando melhorias para a planta fabril e suas respectivas atividades operacionais (MORGAN *et al.*, 2021).

Para a implementação da Indústria 4.0 com plataformas vinculadas a sistemas supervisores de monitoramento em tempo real, há a necessidade de estruturação de um modelo de negócios, o qual necessita estar alinhado e conectado a sistemas tecnológicos, compartilhando dados em tempo real, em toda a cadeia produtiva, criando-se a individualização de produtos e serviços, com ênfase em uma cadeia de valor e a integração com pessoas, objetos e sistemas diversificados (LANDHERR; SCHNEIDER; BAUERNHANSL, 2016).

Neste caso, empresas especializadas no desenvolvimento, implementação e venda dos sistemas supervisores e seus respectivos equipamentos agregados, procuram desenvolver novos padrões tecnológicos de *softwares* e *hardwares* (pertencentes aos padrões da Indústria 4.0), objetivando agregar valor a seus produtos, além de manterem-se competitivas no mercado globalizado (BEREGI *et al.*, 2021).

Dado que a Indústria 4.0 se baseia em dados, em sua maioria advindos dos sistemas supervisórios, conforme Santos *et al.* (2018) e Lugli *et al.* (2021), faz-se relevante a utilização de sistemas supervisores com o objetivo de direcionar a empresa rumo à indústria 4.0. Todavia a implementação de sistemas supervisores requer cuidado, sendo preciso identificar as oportunidades e barreiras neste processo de implementação, de forma a maximizar as oportunidades e minimizar as barreiras de forma a conduzir as empresas ao sucesso nessa implementação.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Nesta subseção, busca-se apresentar a formulação do problema de pesquisa.

1.1.1. Formulação do Problema

Com base nas publicações sobre a implementação de sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0, identificou-se na literatura científica diversos fatores relacionados a oportunidades e barreiras.

Para as oportunidades, a literatura destaca alta flexibilidade dos processos fabris (WANG *et al.*, 2016), ganhos com a escalabilidade para atender as demandas da alta produtividade (FERNANDEZ, *et al.*, 2021), melhorias da confiabilidade da informação e controle dos processos (LOBO, 2016), ganhos nos processos produtivos da planta fabril com o acesso remoto e melhorias da qualidade final do produto (GARCÍA *et al.*, 2017), otimização no desempenho e modularidade dos processos fabris (GONZALEZ *et al.*, 2018), aumento na qualidade dos serviços e produtividade por meio da interoperabilidade e responsividade tecnológica (MANTRAVADI *et al.*, 2022; BEREGI *et al.*, 2021), melhoria na eficácia global

do equipamento – OEE e vantagens de competitividade por meio do uso das tecnologias disruptivas (MANTRAVADI; MOLLER, 2019).

No que diz respeito às barreiras, destacam-se, elevados custos com investimentos em tecnologias de hardwares e softwares (FERNÁNDEZ *et al.*, 2021), escassez de sistemas supervisores para a Indústria 4.0, quando relacionados às estratégias vinculadas à Ecoeficiência (ALARCÓN *et al.*, 2021), barreiras vinculadas a ganhos econômicos e produtividade as quais são dependentes dos processos de adaptações à “modularidade, automação e customização” (EL ZANT *et al.*, 2021; ARAMJA; KAMACH; ELMEZIANE, 2021), dificuldades com a infraestrutura precária e equipamentos obsoletos, resultando em custos onerosos para a implementação dos sistemas supervisores (MOUEF *et al.*, 2018), riscos de ataques cibernéticos e roubo de dados quando as tecnologias da Indústria 4.0 não estão integradas a sistemas de cibersegurança (TSUCHIYA, 2018; RANE; NARVEL, 2019).

No contexto geral da pesquisa sobre a Indústria 4.0 e a implementação de sistemas supervisores, apesar de se ter identificado na literatura científica estudos sobre oportunidades e barreiras, não se encontrou pesquisa científica que desenvolvesse um estudo direcionado a avaliar a importância dessas oportunidades e barreiras, na implementação de sistemas supervisores, denotando-se um *gap* de pesquisa.

Diante disso, torna-se relevante formular a seguinte questão de pesquisa:

- Qual é a importância das oportunidades e barreiras para a implementação de sistemas supervisores em empresas com foco na indústria 4.0?

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho estão divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1. Objetivo Geral

Estudar a importância das oportunidades e barreiras para a implementação de sistemas supervisores em empresas com foco na indústria 4.0

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a revisão bibliométrica e análise de conteúdo da literatura científica para identificar o estado da arte sobre as oportunidades e barreiras na implementação de sistemas supervisores em empresas com foco na Indústria 4.0.

- Avaliar em campo o grau de importância e classificação das oportunidades e barreiras identificadas na teoria.

1.3. JUSTIFICATIVAS PARA ESTUDO DO TEMA

O presente estudo, inicialmente, é justificado pela relevância e escassez de pesquisas científicas sobre a importância das oportunidades e barreiras a níveis de prioridade para a implementação do sistema supervisor em empresas com foco na indústria 4.0.

Ademais, o preenchimento desse *gap* de pesquisa contribuirá com a literatura científica, além de contribuir também com a prática organizacional, de modo que as empresas tenham um melhor preparo em termos de efetividade na implementação do sistema supervisor.

É importante ressaltar que, para a implementação do sistema supervisor com foco na Indústria 4.0, as empresas não estão isentas dessas oportunidades e barreiras a serem analisadas, e os níveis de prioridades das mesmas podem servir de guia para o êxito dessa implementação.

Buscando-se corroborar com a relevância da implementação de sistemas supervisores direcionados à Indústria 4.0, cita-se o Fórum Econômico Mundial (2020), o qual preceitua que a transformação digital voltada à quarta revolução industrial nas empresas é o primeiro passo para as organizações se tornarem mais produtivas e competitivas. Nesse sentido, o aprofundamento de estudos científicos que venham beneficiar esse segmento de negócio, torna-se relevante.

1.4. DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esta pesquisa foi delimitada ao estudo da importância das oportunidades e barreiras com a implementação do sistema supervisor em empresas com foco na Indústria 4.0, restringindo-se a análises de opiniões dos especialistas (diretamente relacionados à área de pesquisa de sistemas supervisores com foco na quarta revolução industrial), localizados no território brasileiro.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

A fim de apresentar a estrutura do presente trabalho científico, esta pesquisa científica, encontra-se dividida em seis capítulos, conforme as descrições abaixo e a apresentação da Figura 1.

O primeiro capítulo é introdutório, onde são apresentados e contextualizados os assuntos pertencentes ao tema proposto, de modo a embasar os respectivos conceitos para a compreensão do presente trabalho científico.

O segundo capítulo, refere-se à revisão bibliométrica e análise de conteúdo da literatura, apresentando os estudos científicos sobre o tema na busca por *gaps* de pesquisa, além da apresentação do modelo conceitual.

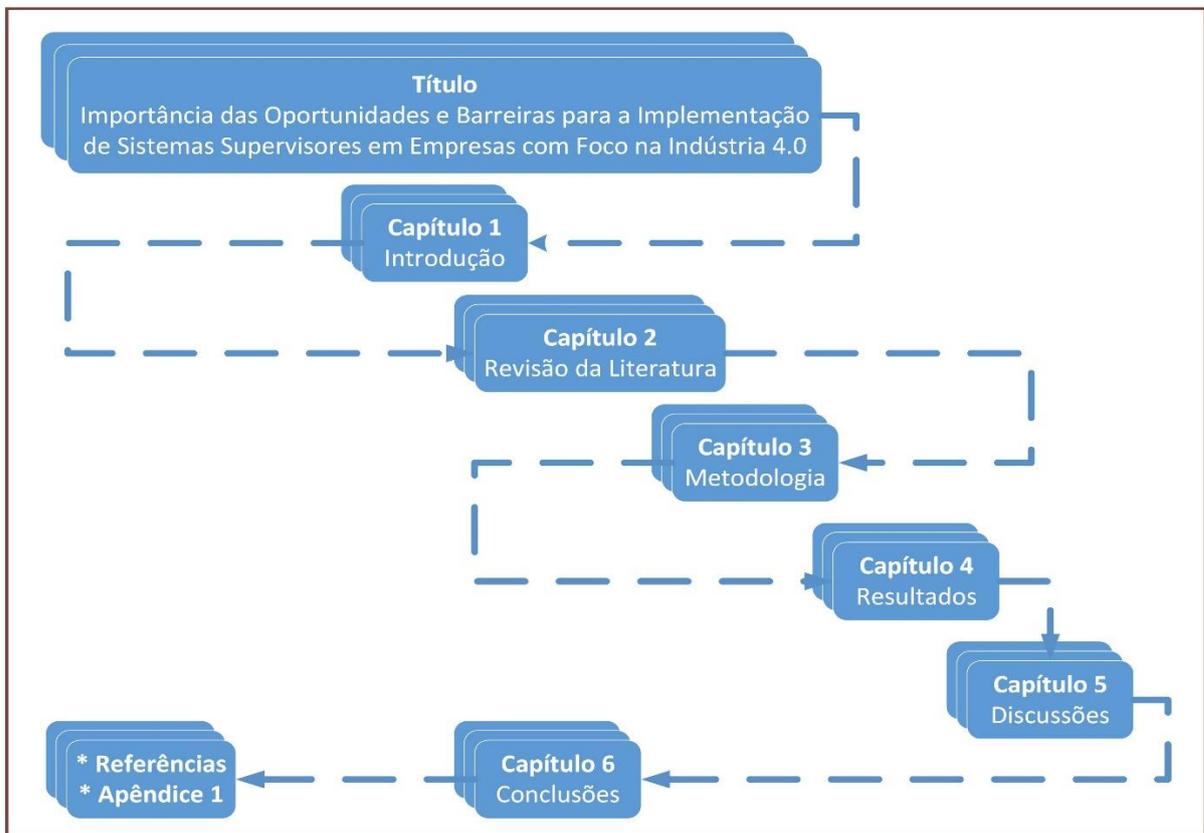
O terceiro capítulo, refere-se à metodologia do estudo científico, esclarecendo-se o método utilizado, as estratégias de abordagem da pesquisa e todo o detalhamento metodológico estruturado.

O quarto capítulo apresenta os resultados, por meio das análises dos especialistas relacionadas à pesquisa de levantamento por amostragem (*sample survey*), além de toda a análise estatística.

O quinto capítulo apresenta as discussões dos resultados.

O sexto capítulo, refere-se à conclusão do estudo científico, com as respectivas considerações finais e sugestões para pesquisas futuras.

Figura 1: Estrutura do Trabalho



Fonte: Autora

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção apresenta-se a revisão da literatura sobre Indústria 4.0, sistemas supervisores de coleta de dados, controladores lógicos programáveis, implementação de sistemas supervisores, além da revisão bibliométrica e análise de conteúdo da literatura científica e a apresentação da estrutura conceitual.

2.1. INDÚSTRIA 4.0

Os fundamentos essenciais para a quarta revolução industrial indicam que as indústrias as quais conectam máquinas e sistemas devem possuir a capacidade de autonomia, a fim de programar manutenções, prever falhas em processos e atividades, além de se adaptarem a mudanças em termos de previsibilidade em seus processos produtivos. Diante disso, com a finalidade de se chegar ao status de uma indústria inteligente, há a necessidade de investimentos e adaptações, integrando recursos e inovações de processos com o intuito da criação de uma cadeia de valor estratégica (SCHWAB, 2016).

Há de se destacar, que a quarta revolução industrial foi antecedida por três importantes revoluções industriais, as quais tiveram consideráveis impactos nos processos laborais, na economia mundial e na implementação de tecnologias fabris para o desenvolvimento de novos produtos e serviços (SCHWAB, 2016).

A primeira revolução industrial, iniciou-se a partir da metade do século 18, com a introdução de processos mecânicos nas atividades de produção, buscando substituir os processos de manufaturas artesanais para produtos e serviços (KAM; RIMMER, 2022).

A partir do século 19, com o advento da eletricidade e a divisão dos trabalhos nas indústrias, a segunda revolução industrial foi iniciada, promovendo a fabricação de máquinas e equipamentos dependentes do uso da energia elétrica, estimulando e impulsionando os processos de manufaturas industriais (KAM; RIMMER, 2022).

A terceira revolução industrial, iniciada após o fim da segunda guerra mundial, destacou-se pelo desenvolvimento da tecnologia da informação (TI) aliada à eletrônica e a automação dos processos fabris para a produção de bens e serviços (KAM; RIMMER, 2022).

Ainda nessa terceira revolução industrial, a partir de 1990, denota-se a difusão e integração dos processos mecânicos, eletroeletrônicos e a aplicação da inteligência artificial, precedendo e dando origem à era da Indústria 4.0 (KAM; RIMMER, 2022).

A era da Indústria 4.0, iniciada a partir de 2011 em Hannover na Alemanha, tem em sua base tecnológica central, a combinação dos sistemas Ciber-Físicos, *Big Data* e *Internet* das

Coisas, combinando essas principais tecnologias disruptivas às etapas de produção industrial, tornando-as autônomas e eficientes. O aprimoramento dessas tecnologias basilares, aliado a inovações da atualidade cria oportunidades e possibilidades inovadoras que caracterizam os padrões da Indústria 4.0 (SCHWAB, 2016).

Os *Cyber-Physical Systems* (CPS), ou Sistemas Ciber-Físicos, têm sua fundamentação baseada na união de plataformas de comunicação, computação avançada e controle da informação, com isso, os sistemas de produção inteligente em tempo real requerem aderência constante dos domínios digitais e físicos. Desta feita, os sistemas Ciber-Físicos, os quais também se encontram vinculados ao campo da manufatura, indicando, não apenas a possibilidade de conectar sistemas físicos, máquinas ou sensores ao domínio cibernético, mas também sob a aplicação e implementação de serviços de *softwares*, a fim de prover funcionalidades às fábricas e usuários para a conexão com a quarta revolução industrial (LANDHERR; SCHNEIDER; BAUERNHANSL, 2016; VERMA, 2022).

Em termos dos principais pilares da Indústria 4.0, o CPS aliado ao *Big Data* e à *Internet das Coisas* representa uma das principais tecnologias disruptivas da quarta revolução industrial. Essas tecnologias são as responsáveis pelos processos mutáveis de produção, alinhadas a largas escalas. Com isso, o CPS tem a função de integrar os dados de manufatura com dados gerenciais, possibilitando que as tomadas de decisões sejam autônomas em uma escala reduzida de tempo (VERMA, 2022).

Os conceitos de *Big Data* referem-se ao ramo da tecnologia da informação que possibilita a otimização e o desempenho de processos, da qualidade de produtos, além da geração de dados direcionados ao gerenciamento dos sistemas, embasados em alta velocidade, variedade, volume e segurança. O *Big Data* tem o importante propósito referente à maneira com que os dados são processados, ou seja, independentemente da quantidade de dados existentes, esses dados recebem um tratamento ideal, avançado e específico ao processo produtivo aplicado a cada empresa (CHEN; WANG, 2022).

A '*Internet das Coisas*' ou '*Internet of Things* (IoT)' diz respeito à integração de objetos físicos e virtuais também nas redes interconectadas, permitindo que dispositivos possam realizar coletas, trocas e armazenagens de dados que serão processados e analisados, dentre informações e serviços em larga escala. Além disso, refere-se a uma extensão da *internet* atual, emergindo de vários avanços relacionados a tecnologias de sistemas embarcados, proporcionando aos objetos convencionais e do dia-a-dia se conectarem às diversas redes de comunicação (KUMAR; RANI; AWADH, 2022).

Na Indústria 4.0, os sistemas de produção inteligente podem ser correlacionados a cinco atribuições: (1) Capacidade de Operação em Tempo Real, onde os dados são tratados de forma instantânea, o que possibilita tomadas de decisões em tempo real; (2) Virtualização, referindo-se a simulações e sistemas de supervisão, gerando-se condições virtuais do chão-de-fábrica; (3) Descentralização, de modo que as tomadas de decisões podem ser realizadas por sistemas Ciber-Físicos em tempo real, obtendo-se informações de ciclos de trabalhos das máquinas industriais; (4) Orientação a Serviços, que se refere à utilização de arquiteturas baseadas ao conceito da *Internet das Coisas*; (5) Modularidade, baseada na demanda, além do acoplamento e desacoplamento de módulos na linha de produção, obtendo-se flexibilidade na alteração de tarefas previstas para as máquinas industriais (SILVEIRA; LOPES, 2017; SILVA *et al.*, 2022).

Nos sistemas de produção inteligente para a Indústria 4.0, destaca-se também o conceito de Escalabilidade, o qual se refere à capacidade de uma empresa aumentar a sua demanda sem diminuir a qualidade de seus produtos fabricados, mantendo os valores de mercado sem um aumento radical de seus respectivos preços finais. Com isso, as implementações de sistemas com os recursos tecnológicos vinculados à Indústria 4.0 devem ser consideradas como fatores impulsionadores para alcançar a Escalabilidade, promovendo às empresas, a otimização de seus processos, o aumento da capacidade fabril e a qualidade final do produto (ACCORSI, *et al.*, 2020).

Vinculada aos sistemas de produção inteligente, a Modularidade na Indústria 4.0, refere-se à capacidade da empresa ter uma produção focada na personalização dos processos, de acordo com a demanda. Nesse sentido, a Modularidade possibilitará que, ao invés da produção em série, ela se torne uma produção baseada em módulos, com distribuições personalizadas, capazes de permitir o acoplamento e desacoplamento de recursos. Sendo assim, na planta fabril, os módulos de produção são acoplados ou desacoplados, a fim de suprirem as suas respectivas demandas, gerando flexibilidade para modificar as tarefas e/ou atividades fabris e melhor atender às necessidades da indústria (GUPTA, 2019).

Outro conceito relacionado à Indústria 4.0 e sistemas de produção inteligente, diz respeito à Interoperabilidade, referindo-se à capacidade dos sistemas se conectarem com outros sistemas. Quanto maior for o número de sistemas conectados entre si, mais dados serão coletados, com isso, em tempo real, mais decisões poderão ser tomadas. Essas coletas de dados por meio de interconexões podem ser realizadas entre sistemas de diferentes setores, fazendo com que as tomadas de decisões possam acontecer de forma rápida, objetiva e integrada entre todas as áreas da indústria (BURNS; COSGROVE; DOYLE, 2019).

Nesses avanços de sistemas de produção inteligente para a Indústria 4.0, há de se destacar a Responsividade Tecnológica, a qual se baseia na habilidade de responder às demandas de uma cadeia produtiva, com extrema rapidez e flexibilidade, sem alterações nos níveis de qualidade dos processos para a fabricação de produtos, atendendo prontamente a todas as solicitações com eficiência e agilidade. Diante disso, para se tornarem mais responsivas, as empresas direcionadas à Indústria 4.0 devem exigir mais velocidade e flexibilidade de seus sistemas, a fim de favorecer os processos fabris, por meio dos avanços tecnológicos (LASI *et al.*, 2014; HENDRICKX, 2022).

Na Indústria 4.0, quando relacionada aos sistemas tecnológicos computacionais, deve-se levar em consideração a Cibersegurança, a qual tem como propósito a proteção de todos os dados dos sistemas integrados, informações de usuários e dados de máquinas. Essa tecnologia de segurança permite que a cadeia de dados digitais se torne incorruptível, promovendo transações, processamentos e compartilhamentos de dados e informações, totalmente de uma maneira segura e transparente (SCHNIEDERJANS; CURADO; KHALAJHEDAYATI, 2020).

Vinculado à Indústria 4.0 e sistemas de produção, também se evidencia a importância do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), que tem como objetivo avaliar a Eficácia Global do Equipamento, correlacionando-o aos subindicadores de Disponibilidade, *Performance* e Qualidade. Conseqüentemente, o percentual de OEE trata da multiplicação desses três subindicadores, de modo que o subindicador “Disponibilidade” se refere ao percentual que determina o quanto o equipamento está disponível para produção, considerando a relação de tempo em que a máquina estava processando a produção sobre o tempo em que estava programada para a operação. O subindicador “*Performance*”, refere-se ao percentual que determina a eficiência do tempo em que a máquina estava programada para a produção em função da quantidade total produzida. O subindicador “Qualidade” trata-se do percentual que avalia o quanto os produtos produzidos são bons ou ruins, referindo-se à relação entre o total de peças boas produzidas sobre o total de peças produzidas com defeitos (YAZDI; AZIZI; HASHEMIPOUR, 2018).

Diante do exposto, a Indústria 4.0 representa um novo modelo de organização e controle de todo o sistema para a agregação de valores, buscando-se satisfazer uma demanda produtiva e personalizada para os processos de produção em massa sob plataformas digitalizadas e inteligentes. Com isso, os sistemas tradicionais são transformados em sistemas inteligentes e em tempo real, por meio de novos modelos vinculados às tecnologias da Indústria 4.0 (ZHONG *et al.*, 2017; ACCORSI, *et al.*, 2020).

Conforme ilustrado na Figura 2, para a implementação da Indústria 4.0, há a necessidade da estruturação de um modelo de negócios, o qual necessita estar alinhado e conectado a sistemas Ciber-Físicos, compartilhando dados em tempo real em toda a cadeia produtiva, criando-se a individualização de produtos e serviços, com ênfase a uma nova organização da cadeia de valor e a interação com pessoas, objetos e sistemas diversificados (LANDHERR; SCHNEIDER; BAUERNHANSL, 2016).

Figura 2: Conceitos da Indústria 4.0 e Suas Respectivas Características



Fonte: Adaptado de Landherr, Schneider e Bauernhansl (2016)

2.2. SISTEMAS SUPERVISORES DE COLETA DE DADOS

Os sistemas supervisores são aplicações desenvolvidas por meio de *softwares* para o monitoramento dos processos produtivos, utilizados para o chão-de-fábrica nas indústrias dos mais diversificados segmentos. Esses sistemas de supervisão são responsáveis por monitorar as informações instantâneas das máquinas da linha de produção como quantidades de peças produzidas, vazão, pressão, temperatura, volume, tempo de parada de máquina, dentre outras variáveis. As informações monitoradas por meio dos sistemas supervisores são dependentes do Controlador Lógico Programável (CLP), o qual tem a função de coletar os dados das máquinas

da linha de produção, criando-se um elo com o sistema de supervisão, o que possibilita o controle, planejamento e a gestão da produção, gerando melhorias para as operações fabris (JASKÓ *et al.*, 2020).

No que se refere aos cenários sobre os sistemas supervisores de chão-de-fábrica, destaca-se o *Manufacturing Execution Systems* (MES) ou Sistema de Execução da Manufatura, que além das etapas de supervisão em tempo real dos processos produtivos fabris, também pode promover o inter-relacionamento entre sistemas como: *Enterprise Resource Planning* (ERP) ou Planejamento de Recursos da Empresa e o *Manufacturing Resource Planning* (MRP II) ou Planejamento de Recursos de Produção (MANTRAVADI; MOLLER, 2019).

Majeed e Rupasinghe (2017) se referem ao sistema ERP como uma ferramenta da Tecnologia da Informação (TI) com o objetivo de integrar os processos industriais das empresas, realizando a centralização de todas as informações, além de prover e facilitar todo o planejamento e o processo industrial.

Para Bereji *et al.* (2021), o atendimento das diversas áreas de uma indústria com características distintas torna o ERP menos eficaz quando utilizado de forma isolada, principalmente quando aplicado em plantas de manufatura industrial, nesse sentido, o MES integrado ao ERP torna o processo fabril mais abrangente e eficaz.

O sistema MES refere-se a um conjunto agregado de funções direcionadas às atividades de produção fabril vinculadas às centrais de operações de manufatura, transformando-as e controlando-as de um modo digital e virtual, promovendo a otimização e o controle da produção, com respostas rápidas à tomada de decisão, o que resulta na eficiência das operações e processos da planta industrial (MANTRAVADI, *et al.*, 2022).

De acordo com Morgan *et al.* (2021), o MES tem como princípio acumular informações de chão-de-fábrica, realimentando-as para os sistemas de planejamentos, a fim de controlar a produção levando-se em consideração o que foi efetivamente produzido e como foi produzido, possibilitando-se a realização de comparações com o que foi planejado, além do acionamento de ações corretivas.

Em uma escala, abaixo do sistema MES, o *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) refere-se a um conjunto de *softwares* fixado acima da camada do hardware CLP para a execução e o controle das atividades da planta fabril de manufatura, concentrando-se ao SCADA às atividades de níveis de supervisão, funções de controle de acesso, interface homem-máquina, alarmes, análise de tendências, relatórios e automações de tarefas (MORGAN *et al.*, 2021).

Conforme Morgan *et al.* (2021), os sistemas baseados na arquitetura *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) coletam dados de monitoramento, bem como analógicos e digitais, permitindo o controle, a criação de relatórios, gráficos de tendências de variáveis, além da otimização de processos, o que possibilita operações controladas por algoritmos em termos de sistemas de supervisão em tempo real.

Os sistemas supervisores de chão-de-fábrica oferecem três funções básicas, tanto aplicados ao MES quanto nas arquiteturas (SCADA). A primeira função responsável pela supervisão, que compreende o monitoramento de processos como sinópticos animados, gráficos de tendências variáveis e a criação de múltiplos relatórios. A segunda função está relacionada à operação, substituindo as funções de mesa de controle e atividades pertinentes a acionamentos e o desligamento de equipamentos. A terceira e última, refere-se às funções avançadas de controle, possuindo uma linguagem que permite definir diretamente as ações de controle e operações de entradas e saídas, aplicadas e executadas por processos tecnológicos remotos (MORGAN *et al.*, 2021).

2.3. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

Os CLPs surgiram na década de 1960 com o propósito de automatizar e tornar flexíveis as plantas das linhas de produções em série, principalmente para o segmento automobilístico. Trata-se de dispositivos que eram programados mediante a linguagem de programação Ladder (específica para automação), não padronizada. Devido aos problemas causados por falta de padronização, além do advento de avanços tecnológicos de hardwares e *softwares*, passou-se a publicar normas para as novas linguagens de programação e estruturas de software, surgindo novas versões de CLPs que permitiam implementar funções matemáticas complexas e avançados algoritmos de controle (JASKÓ *et al.*, 2020).

Nas etapas avançadas de controle e execução de processos de um sistema de supervisão, destaca-se a utilização do CLP. Trata-se de um equipamento que, aliado a sensores e dispositivos eletrônicos e digitais, permite a captura de dados das máquinas industriais, além da possibilidade do controle das mesmas. O CLP é o principal responsável pela interatividade entre o sistema supervisor e a máquina de produção industrial (JASKÓ *et al.*, 2020).

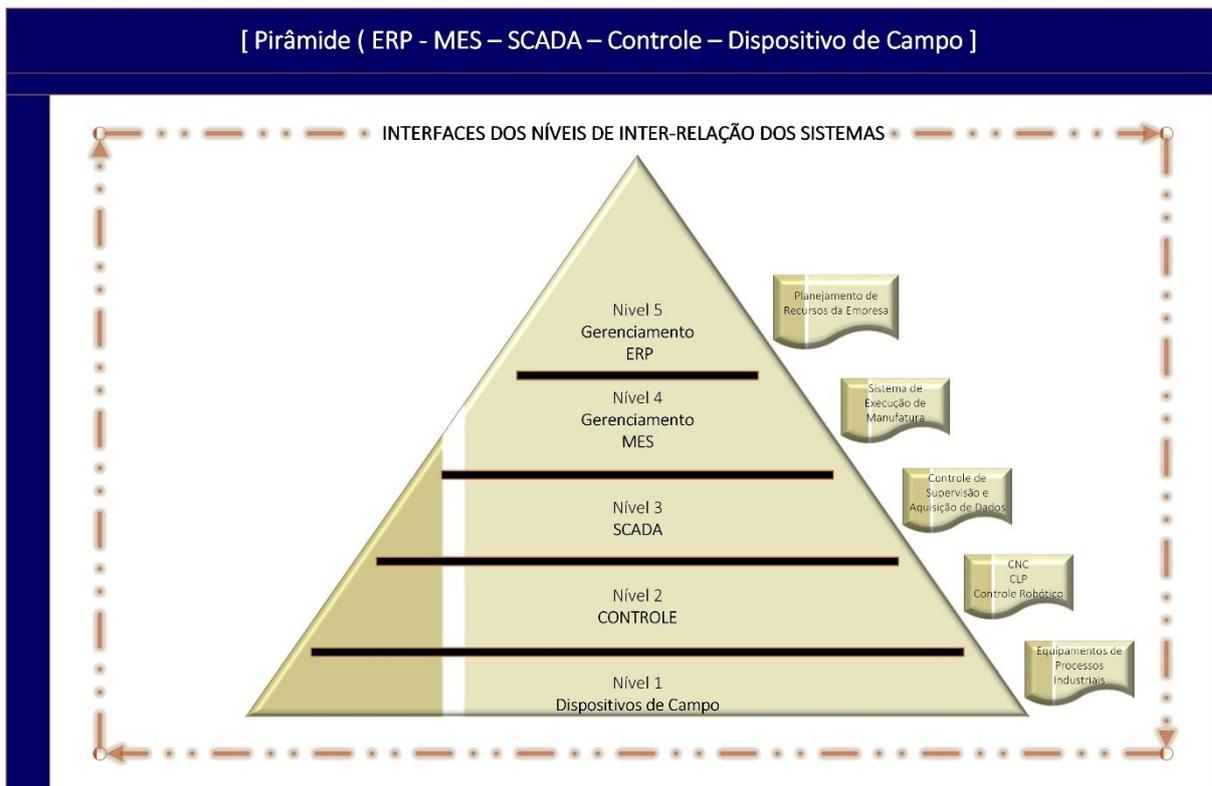
Nos sistemas de automação industrial, há a possibilidade da interligação e conexão de diversos CLPs com a função de estabelecer o acesso do sistema de supervisão e controle junto às máquinas envolvidas nos processos industriais. Muitos destes equipamentos CLPs utilizam

linguagens e sistemas padronizados, dentre outros com padronizações em arquitetura proprietária (JASKÓ *et al.*, 2020).

Na Figura 3, apresenta-se a pirâmide de automação, especificando os níveis de inter-relação dos sistemas, os quais demonstram a hierarquia dos mesmos, iniciando-se no nível (5) gerenciamento ERP, seguido dos níveis: (4) Gerenciamento MES; (3) SCADA; (2) Controle, o qual trata da relação com o controlador numérico computacional CNC, CLP e controles robóticos; (1) Dispositivo de Campo, referindo-se aos equipamentos e/ou máquinas de processos industriais das plantas fabris.

Conforme Moraes e Castrucci (2017), o sistema ERP é o nível mais ao nível mais alto, seguido das interconexões do “sistema MES, SCADA, Controle e Dispositivos de Campo” representam o elo mais próximo de um conjunto de sistemas de manufatura para o gerenciamento de uma planta fabril.

Figura 3: Pirâmide (ERP – MES – SCADA – Controle – Dispositivos de Campo)

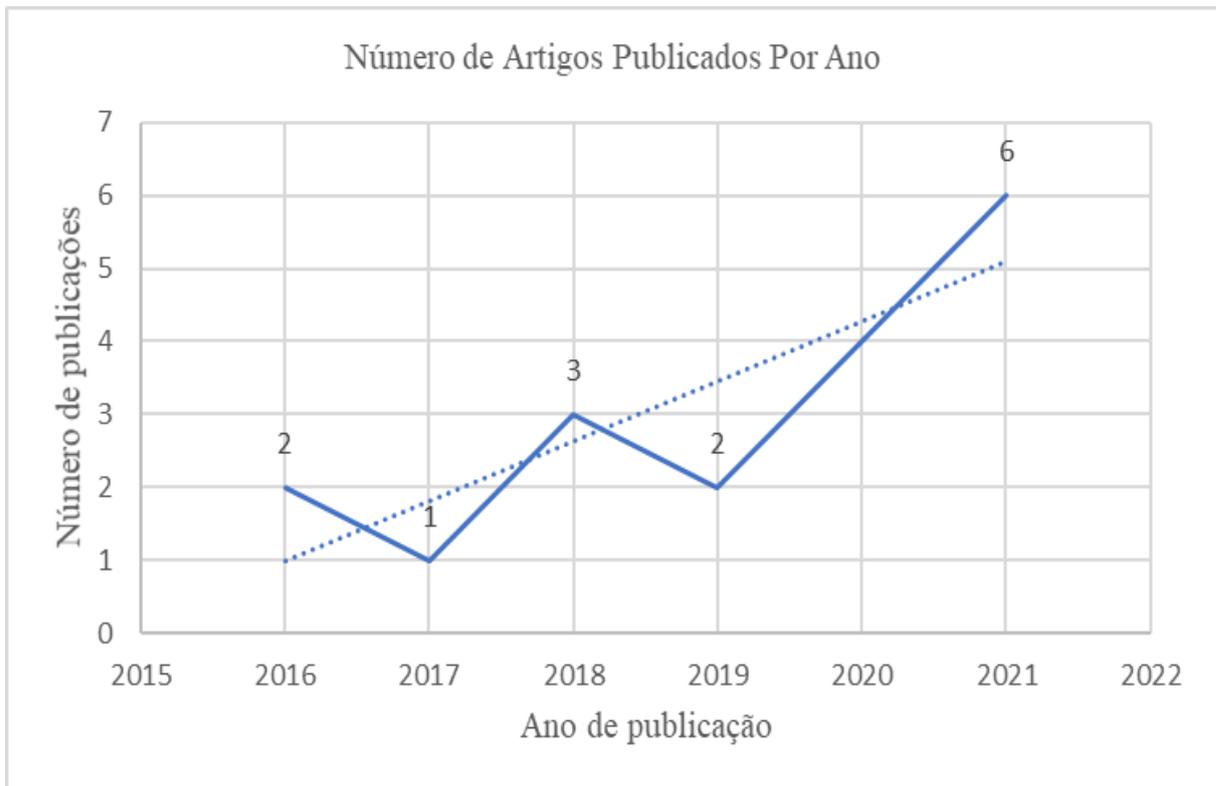


Fonte: Adaptado de Moraes e Castrucci (2017)

2.4. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM TERMOS DE EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS POR ANO

Frente ao número de publicações científicas identificadas como relevantes ao tema proposto, na Figura 4, percebe-se entre os anos de 2016 a 2019 uma oscilação na quantidade de artigos científicos publicados, os quais, especificamente, nos anos 2016, 2017, 2018 e 2019 foram publicados, respectivamente, 2, 1, 3 e 2 artigos. Por outro lado, no ano de 2021, nota-se um crescimento linear das publicações, atingindo-se uma quantidade de 6 publicações pertinentes ao tema de estudo da presente pesquisa.

Figura 4 – Gráfico de evolução das publicações ao longo dos anos



Fonte: Autora

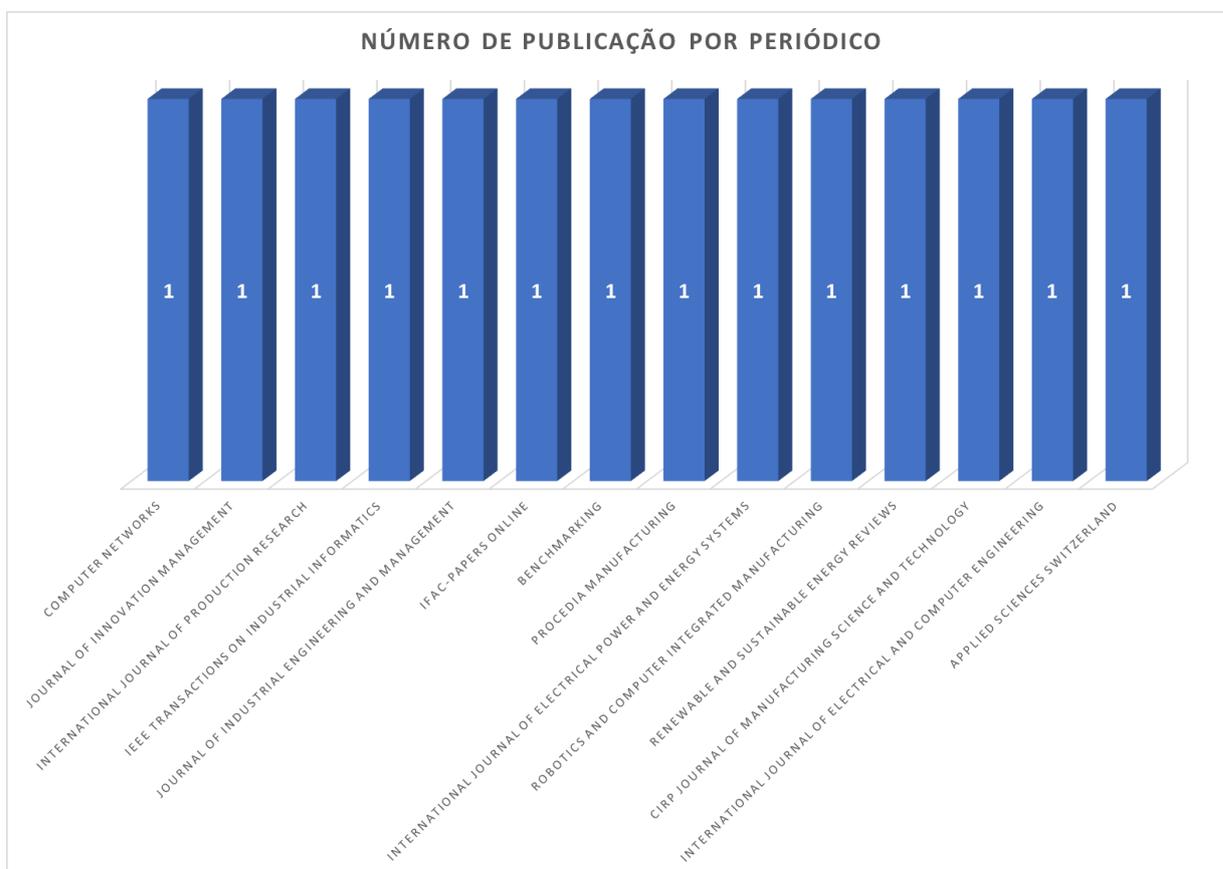
2.5. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM TERMOS DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS POR PERIÓDICOS

O gráfico da Figura 4 apresenta o número de publicações científicas para os periódicos (*Computer Networks; Journal of Innovation Management; International Journal of Production Research; IEEE Transactions on Industrial Informatics; Journal of Industrial Engineering and Management; IFAC-Papers OnLine; Benchmarking; Procedia Manufacturing; International Journal Of Electrical Power And Energy Systems; Robotics And Computer Integrated Manufacturing; Renewable And Sustainable Energy Reviews; CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology; International Journal of Electrical and Computer Engineering;*

Applied Sciences Switzerland), referindo-se à distribuição dos quatorze artigos científicos validados e avaliados, integralmente, por meio da análise de conteúdo.

Conforme a representação da Figura 4, para cada periódico, obteve-se apenas uma publicação, o que denota um segmento de pesquisa científica pouco pesquisado, quando relacionado às atividades de implementação de sistemas supervisores para a Indústria 4.0 com foco em oportunidades, barreiras e/ou suas respectivas cognatas.

Figura 5 – Gráfico do número de publicações científicas por periódicos

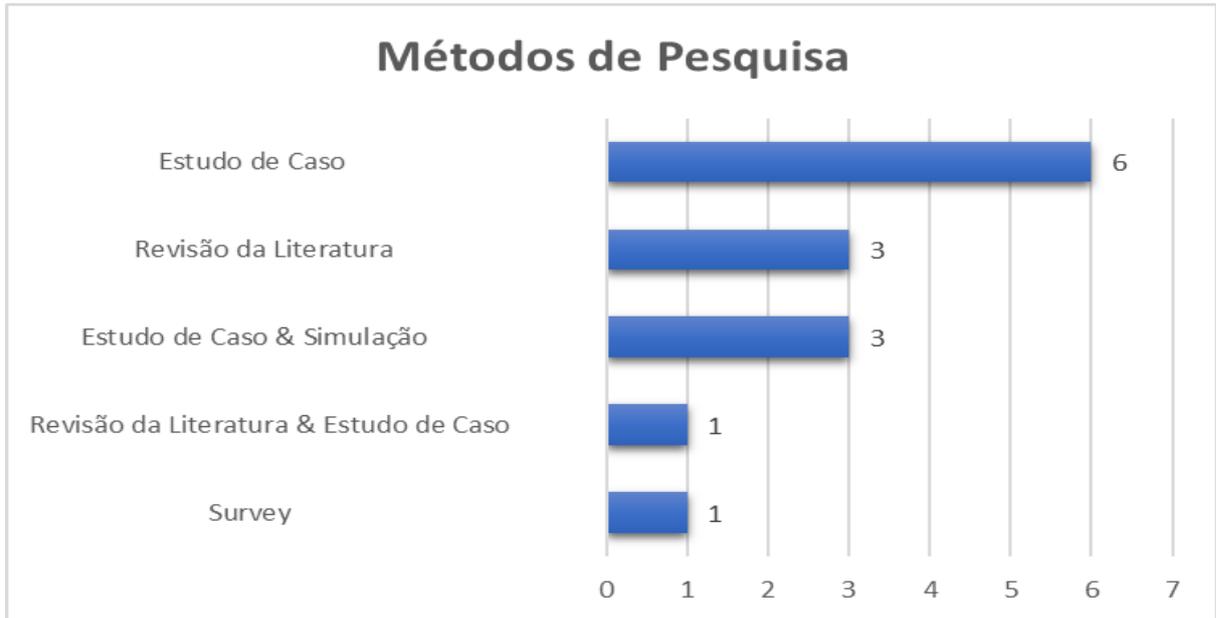


Fonte: Autora

2.6. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM TERMOS DE MÉTODOS DE PESQUISA DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Conforme apresentado na Figura 6, pode-se verificar que os métodos de pesquisa encontrados nas publicações científicas, referem-se ao Estudo de Caso; Revisão da Literatura; Estudo de Caso e Simulação; Revisão da Literatura e Estudo de Caso; *Survey*, os quais representam 6, 3, 3, 1 e 1 artigos de periódicos.

Figura 6 – Gráfico dos métodos de pesquisa das publicações científicas



Fonte: Autora

2.7. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM TERMOS DO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS POR PAÍSES

No que se refere à análise da internacionalidade das publicações existentes sobre o tema, o gráfico da Figura 7 indica a predominância dos artigos científicos direcionados à Espanha, Dinamarca e Brasil, os quais apresentam respectivamente 3, 2 e 2 publicações. Para os demais países, França, Japão, Algéria, Hungria, Índia e a combinação de Bélgica e Marrocos, obtiveram apenas uma publicação científica cada um.

Figura 7 – Gráfico do número de publicações científicas por países



Fonte: Autora

2.8. ANÁLISE DE CONTEÚDO DA LITERATURA SOBRE IMPLEMENTAÇÕES DE SISTEMAS SUPERVISORES – OPORTUNIDADES E BARREIRAS

As pesquisas científicas apresentadas a seguir, referem-se ao resultado da Revisão da Literatura, as quais tratam da análise de conteúdo do portfólio de artigos científicos que retratam os sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0 em termos de oportunidades, barreiras e suas respectivas cognatas, conforme metodologia da seção 3.1.1.

Wang *et al.* (2016) propõem um modelo estrutural de fábrica inteligente e controle de supervisão em tempo real com recursos de Indústria 4.0. O modelo retrata as vantagens por meio da integração de tecnologias, as quais, aliadas à supervisão do chão-de-fábrica, promovem oportunidades de cooperações distribuídas entre todos os setores da empresa, além de alta flexibilidade entre os processos fabris e seus respectivos agentes industriais. Por outro lado, para fins de efetividade, os resultados incidem na necessidade de aplicação e integração de diferentes tecnologias, tais como *Cloud Computing*; *Cyber-Physical Systems*; *Internet of Things*; *Digital Manufacturing*; *Big Data e Systems Integration*. Com base no exposto, obtém-se melhoria na qualidade de produtos e processos, além da otimização do desempenho de todo o sistema industrial.

Utilizando-se uma estrutura conceitual de revisão da literatura sobre Indústria 4.0 e Futuro de Sistemas de Supervisão, Lobo (2016) avalia na literatura científica a transitoriedade dos sistemas supervisores tradicionais para sistemas direcionados às fábricas inteligentes. Os resultados indicam que a digitalização, a virtualização e a integração de plataformas devem convergir com a aplicação e uso das tecnologias *Big Data*; *Cloud Computing*; *Advanced Robotics*; *Additive Manufacturing*; *Cyber-Physical Systems*; *Internet of Things e Systems Integration*. Diante das novas oportunidades, as seguintes vantagens são esperadas: “Transparência e segurança da informação”; “Melhoria de visibilidade por meio de potentes sistemas supervisores com foco em ferramentas da Indústria 4.0”; Sistemas supervisores altamente desenvolvidos, facilitando a gestão de dados para a tomada de decisões rápidas.

Por meio da revisão da literatura sobre sistemas de supervisão para pequenas e médias empresas em projetos de indústria 4.0, Mouef *et al.* (2018) buscaram avaliar quais são as principais barreiras que impactam na implementação, planejamento e gestão da produção no setor 4.0. Os principais resultados remetem ao fato de que as pequenas e médias empresas se encontram mal equipadas (infraestrutura precária e equipamentos obsoletos) para enfrentar novas possibilidades em relação a implantações de sistemas supervisores direcionados às tecnologias da Indústria 4.0, refletindo-se no aumento de custos. Por conseguinte, as

explorações mais abrangentes sobre a integração das tecnologias da Indústria 4.0 junto aos sistemas supervisores, conseqüentemente, ficam limitadas à adoção das tecnologias *Cloud Computing e Internet of Things*, promovendo-se apenas o monitoramento dos processos fabris.

Em um modelo denominado projeto de navegação e supervisão modular de robôs móveis autônomos em ambientes de Indústria 4.0, Gonzalez *et al.* (2018) desenvolveram uma arquitetura modular que propõe abordagens controladas por sistema de supervisão e navegação inteligente em ambientes industriais. O sistema supervisor garante a correta navegação dos robôs na presença de obstáculos imprevisíveis, com prevenção de colisões e gerenciamento de tarefas. Dentre os resultados, destacam-se as seguintes oportunidades de melhoria: otimização e desempenho de processos; supervisão dos robôs em tempo real; mobilidade, destreza e capacidade de interagir com o meio ambiente; capacidade de personalização, adaptabilidade à modularidade e supervisão reconfigurável. As tecnologias utilizadas foram: *Systems Integrations; Advanced Robotics, Internet of Things; Cyber-Physical Systems; Big Data; Digital Manufacturing*.

Tsuchiya *et al.* (2018), utilizando um modelo de arquitetura de rede para sistemas de supervisão e manufatura por meio de filtragem temporal de cibersegurança, buscaram avaliar os potenciais riscos presentes na implementação de sistemas supervisores industriais de chão-de-fábrica. Os resultados indicam que, para aproveitar todos os dados de controle, os sistemas de supervisão direcionados à Indústria 4.0 exigem a integração das tecnologias *Cyber-Physical Systems; Internet of Things; Cloud Computing*, além da necessidade de que os dispositivos industriais sejam conectados a diversas redes computacionais. Potencialmente, isso pode aumentar o risco de ataques cibernéticos, roubo de dados e o comprometimento das atividades e processos de produção. Para tanto, a defesa em profundidade através de módulos de filtragem temporal é uma contramedida eficaz para a prevenção de ataques cibernéticos.

García *et al.*, (2017), por intermédio do desenvolvimento de um modelo de arquitetura aberta de automação flexível de petróleo e gás IEC-61499 e a aplicação das tecnologias *Big Data; Cyber-Physical Systems e Systems Integration*, buscaram a automatização e a supervisão virtualizada de tarefas de alto custo, procurando-se aumentar a flexibilidade dos processos, a otimização e a redução de custos às indústrias de gás e petróleo. Os resultados relatados pelos utilizadores do sistema supervisor indicam as seguintes vantagens e oportunidades de melhoria: tempo reduzido de fabricação e otimização de processos; manutenção preditiva e melhoria na qualidade final do produto; automação otimizada e o inter-relacionamento entre setores por meio da virtualização dos processos; redução de custos nas atividades e processos das plantas industriais; acesso remoto em tempo real às atividades e processos industriais.

Rane e Narvel (2019), por meio de um projeto de sistemas e arquitetura de tecnologias disruptivas integradas ao *Blockchain-IoT* para Indústria 4.0, utilizando-se *Cloud Computing; Internet of Things; Cyber-Physical Systems e Systems Integration*, buscaram supervisionar em tempo real, os riscos entre as operações industriais do segmento de petróleo, gás, construção, engenharia e manufatura. Diante dos resultados, potenciais riscos foram evidenciados: Quantidades enormes de dados processados sem a intervenção humana, com informações críticas para a segurança e privacidade, os quais são alvos atraentes para invasores cibernéticos; Rastreabilidade de atividades e processos industriais, sem a devida proteção, tornando-os vulneráveis. Para tanto, a integração *Blockchain* com as tecnologias disruptivas pode fornecer significativas proteções aos setores que mais necessitam de proteção e privacidade de dados.

Mediante revisão da literatura sobre sistemas MES e sua importância para setores direcionados à Indústria 4.0, Mantravadi e Moller (2019) buscaram avaliar as oportunidades oferecidas por meio da evolução dos Sistemas de Execução de Manufatura – MES na era da transformação digital. Os seguintes resultados foram encontrados e evidenciados: Melhoria de competitividade por intermédio do uso das tecnologias disruptivas inteligentes, facilitando a tomada de decisão em tempo real; Integração de sistemas e a receptividade mútua facilita a rápida tomada de decisão para os processos produtivos; Tempo reduzido na fabricação e melhoria na qualidade do produto; Melhoria na Eficácia Global de Equipamento – OEE. As tecnologias envolvidas nos estudos, referem-se a *Digital Manufacturing; Internet of Things; Cyber-Physical Systems e Big Data*.

Fernández *et al.* (2021), por meio de um estudo de caso propuseram a implementação de um sistema de supervisão direcionado à Indústria 4.0, baseado em uma solução *IoT* para o monitoramento de usinas fotovoltaicas, inteiramente fundamentada em uma arquitetura de software *Open Source Scada*. Com essa implementação em uma planta real, evidenciaram-se vantagens vinculadas à escalabilidade, por meio da centralização de dados e agregação de novos dispositivos, contribuindo com o monitoramento em tempo real. No que diz respeito às desvantagens, identificaram-se desafios vinculados a altos custos com investimentos em tecnologias de *hardware* e software, fator relevante para a decisão da implementação do sistema e sua respectiva ampliação para as demais áreas. As tecnologias habilitadoras vinculadas ao estudo, trataram-se de *Digital Manufacturing; Internet of Things; Cyber-Physical Systems e Big Data*.

Mantravadi *et al.* (2022), por meio de uma revisão da literatura e estudo de caso, analisaram os desafios de um projeto de arquitetura de sistema de supervisão MES, com base nas tecnologias *Internet of Things; Cyber-Physical Systems e Big Data*. No projeto,

implementou-se uma plataforma de código aberto, vinculando-a ao ERP e MES nos padrões da Indústria 4.0, a fim de padronizar e monitorar em tempo real os recursos disponíveis (equipamentos e materiais produzidos) em uma arquitetura de software e hardware baseada na implementação e integração de dispositivos para a função da qualidade QFD. Os resultados encontrados em termos de benefícios indicam que a interoperabilidade é a característica mais importante ao projetar uma fábrica inteligente responsiva, com a maior importância para trazer retornos financeiros e tecnológicos ligados à Indústria 4.0 e sistemas supervisores.

Alarcón *et al.* (2021), avaliando a implementação de estruturas organizacionais da Indústria 4.0 e sistemas supervisores para melhorar a eficiência energética, por meio de um estudo de caso, identificaram que os principais desafios referem-se à necessidade urgente de reduzir os consumos de energia, água e matéria-prima, a fim de garantir o funcionamento seguro e confiável da planta fabril, por meio do monitoramento em tempo real. Para esse fim, a integração e uso das tecnologias habilitadoras *Systems Integration; Cyber-Physical Systems e Internet of Things*, além da arquitetura de software para sistemas de gestão de manutenção, MES e a arquitetura de *hardware* para Plataformas de Energia e Consumo de Água MMS foram necessárias para validação dessa estrutura organizacional relacionada à Indústria 4.0 e a implementação do sistema de supervisão.

El Zant *et al.* (2021), por meio de um estudo de caso, vinculando-o à implementação do sistema de supervisão e a Indústria 4.0, identificaram que o principal desafio nesse contexto, refere-se a busca pela alta flexibilidade dos processos de produção a um nível de personalização, automação e modularidade. Com isso, a empresa pode obter benefícios estratégicos em termos de reduções de custos e ganhos econômicos, adaptando-se rapidamente às demandas. Para esse fim, foram necessários o uso das tecnologias habilitadoras *Systems Integration; Cyber-Physical Systems e Internet of Things*, além das arquiteturas de *hardware* e *software* IHM e o MES para flexibilidade de processos de produção.

Aramja, Kamach e Elmeziane (2021), em um estudo através do método *survey*, direcionado à implementação de sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0, identificaram que no setor manufatureiro, é importante a busca do alto nível de excelência operacional para melhorar a competitividade das empresas. Para esse fim, deve-se aplicar as tecnologias habilitadoras *Systems Integration; Cyber-Physical Systems; Internet of Things* aliada às arquiteturas de software, para modelagem de equações estruturais de mínimos quadrados parciais, e as arquiteturas de *hardware* para controladores lógicos programáveis e o Scada, destacaram-se com resultados positivos para a obtenção de benefícios vinculados à excelência

de modularização dos processos, reduções de custos, ganhos econômicos e a integração de soluções na planta fabril.

Beregi *et al.* (2021), por meio de um estudo de caso e simulação, estudaram a transformação digital e a inteligência artificial, no que diz respeito à implementação do sistema de supervisão direcionado à Indústria 4.0. Os resultados indicaram que a Indústria 4.0 e os sistemas supervisores se aproximam da geração de desenvolvimentos de fábricas inteligentes, exigindo a interoperabilidade e responsividade, além da padronização e aplicação das tecnologias habilitadoras *Systems Integration; Cyber-Physical Systems e Internet of Things*, junto às arquiteturas de *hardware* e software baseadas na Plataforma de Comunicação Unificada (OPC UA). Diante disso, os seguintes benefícios foram enfatizados: aumento de competitividade, reduções de custos, ganhos econômicos, padronização dos processos fabris, alto grau de flexibilidade, adaptabilidade, interoperabilidade, autonomia de processos e rápida tomada de decisão.

Nos Quadros (1a e 1b) apresenta-se uma síntese das argumentações assertivas, embasadas no portfólio da literatura científica, o qual trata de oportunidades e barreiras com foco na implementação de sistemas supervisores para a Indústria 4.0.

Quadro 1a – Sistemas Supervisores para Indústria 4.0 com base em oportunidades

Constructo Oportunidades		Embasamento (Teórico)	Referências (Autoria)
Variável	Fatores de Impacto (+)		
FLEXIBILIDADE	Integração de Tecnologias da Indústria 4.0 gera alta flexibilidade nos processos fabris.	A integração de tecnologias da Indústria 4.0, quando aliadas a sistemas de supervisão de chão-de fábrica promove melhorias em termos de alta flexibilidade nos processos, gerando resultados efetivos em toda as atividades fabris da cadeia industrial.	Wang et al. (2016)
	Melhorias em termos de escalabilidade para o atendimento de demandas e produtividade.	A implementação do sistema de supervisão baseado na Indústria 4.0 evidencia como resultado positivo, melhorias de escalabilidade para o atendimento de aumentos de demandas e o aumento efetivo na produtividade.	Fernández et al. (2021)
PRODUÇÃO	Melhorias da confiabilidade da informação e alta visibilidade dos controles nos processos fabris.	No contexto da Indústria 4.0, a transitoriedade de sistemas supervisores tradicionais para sistemas supervisores de fábricas inteligentes gera vantagens por meio da digitalização, virtualização e a integração de tecnologias disruptivas, as quais promovem oportunidades de melhorias em termos de confiabilidade da informação e alta visibilidade dos controles dos processos fabris.	Lobo (2016)
	Melhorias com a otimização no desempenho das atividades industriais e a rápida capacidade para a modularidade dos processos fabris.	O sistema de supervisão direcionado à Indústria 4.0 com suas respectivas tecnologias disruptivas promove oportunidades em termos de melhorias de otimização no desempenho das atividades industriais em tempo real, além da rápida capacidade de adaptabilidade à modularidade dos processos fabris.	Gonzalez et al. (2018)
	Oportunidades de melhorias por meio do acesso remoto em tempo real aos processos produtivos da planta industrial.	A empresa, ao implementar o sistema de supervisão industrial direcionado à Indústria 4.0, para virtualização e a automatização dos processos fabris, promove oportunidades de melhorias por meio do acesso remoto em tempo real aos processos produtivos da planta industrial.	García et al. (2017)
	Melhoria na Eficácia Global do Equipamento – OEE.	A implementação do Sistema de Supervisão com foco na Indústria 4.0, permite que a empresa atinja melhorias na sua “Eficácia Global do Equipamento – OEE”.	Mantravadi e Moller (2019)
GANHOS ECONÔMICOS	Oportunidades de melhorias com expectativas de ganhos econômicos e reduções de custos para a indústria.	O investimento na implementação do sistema de supervisão industrial direcionado à Indústria 4.0 para virtualização e a automatização dos processos fabris, promove oportunidades de melhorias com expectativas de reduções de custos de produção para a indústria.	García et al. (2017)
PRODUTIVIDADE	Oportunidades de melhorias com o aumento da produtividade industrial.	Aplicações de investimentos financeiros em sistemas de supervisão industrial direcionado à Indústria 4.0 para virtualização e a automatização dos processos fabris, promove oportunidades de melhorias com o aumento da produtividade industrial.	García et al. (2017)
QUALIDADE	Oportunidades de melhorias para a qualidade final do produto.	A empresa ao investir na implementação do sistema de supervisão industrial direcionado à Indústria 4.0 para virtualização e a automatização dos processos fabris, promove oportunidades de melhorias para a qualidade final do produto.	García et al. (2017)
COMPETITIVIDADE	Melhoria de competitividade devido ao uso das tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 com o sistema supervisor, facilitando a tomada de decisão.	Com a implementação do Sistema de Supervisão com foco na Indústria 4.0, a oportunidade de melhoria para a empresa é o aumento da competitividade por intermédio do uso das tecnologias disruptivas, facilitando a tomada de decisão em tempo real.	Mantravadi e Moller (2019)
QUALIDADE E PRODUTIVIDADE	Melhorias em termos de “interoperabilidade e responsividade tecnológica” refletem positivamente na qualidade dos serviços e na produtividade fabril.	A importância do sistema de supervisão baseado nas tecnologias da Indústria 4.0 tem como característica principal o aumento da qualidade dos serviços e o aumento de produtividade fabril, os quais são influenciados diretamente pelos fatores tecnológicos de interoperabilidade e responsividade.	Mantravadi et al. (2021); Beregi et al. (2021)

Quadro 1b – Sistemas Supervisores para Indústria 4.0 com base em barreiras

Constructo Barreiras		Embasamento (Teórico)	Referências (Autoria)
Variável	Fatores de Impacto (-)		
CUSTOS	Infraestrutura precária e equipamentos obsoletos impactam com elevados custos na implementação de sistemas supervisores para a Indústria 4.0.	Entre os critérios para a instalação de sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0, uma das principais barreiras é a infraestrutura precária e equipamentos obsoletos, o qual ocasionam o aumento de custos e necessidade de altos investimentos para as indústrias, para a sua renovação.	Mouef et al. (2018)
	Desvantagem em termos de altos custos com investimentos em tecnologias de hardware e software.	Ao implementar o sistema supervisório baseado na Indústria 4.0, evidencia-se como desvantagem os altos custos com investimentos em tecnologias de hardware e software, fator relevante para a decisão da implementação do sistema e/ou sua respectiva ampliação para as demais áreas.	Fernández et al. (2021)
SEGURANÇA	A Integração de Tecnologias da Indústria 4.0, sem a aplicação de Sistemas de Segurança aumenta os riscos de cyber ataques e o sequestro de dados das empresas.	Diante da avaliação das barreiras presentes na implementação de sistemas supervisores de chão-de-fábrica, a integração das tecnologias da Indústria 4.0, sem a aplicação de "Sistemas de Proteção e Filtragens de Cyber Segurança" pode comprometer a segurança, além de potencializar riscos de ataques cibernéticos.	Tsuchiya et al. (2018)
	As tecnologias da Indústria 4.0, sem a aplicação de "Sistemas de Cyber Segurança" potencializa os riscos de ataques cibernéticos e roubo de dados.	A implementação dos sistemas supervisores sob o uso das tecnologias da Indústria 4.0 oferece riscos de ataques cibernéticos e roubos de dados, caso essas tecnologias disruptivas não sejam integradas ao "sistema de segurança Blockchain", que tem como objetivo proteger toda a rede de dados da planta fabril.	Rane e Narvel (2019)
ECOEFICIÊNCIA	Escassez de sistemas supervisores para a Indústria 4.0, quando relacionados à Ecoeficiência, a fim de mitigar o consumo de energia, água e matéria-prima.	Os sistemas supervisórios em tempo real para a Indústria 4.0, encontram-se carentes em termos de funcionalidades aplicadas à Ecoeficiência, no que se refere a reduções de consumo de energia, água e matéria-prima.	Alarcón et al. (2021)
GANHOS ECONÔMICOS E PRODUTIVIDADE	Há necessidade de adaptações à modularidade, automação e customização para melhorias que gerem produtividade e ganhos econômicos.	A empresa ao implementar o sistema de supervisão para a Indústria 4.0, com o objetivo estratégico de melhorias de ganhos econômicos e aumento de produtividade, necessita de adaptações e/ou criações de processos vinculados à "modularidade, automação e customização personalizada".	El Zant et al. (2021); Aramja, Kamach e Elmeziane (2021)

2.9. DEFINIÇÃO DO MODELO CONCEITUAL COM BASE NA REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA

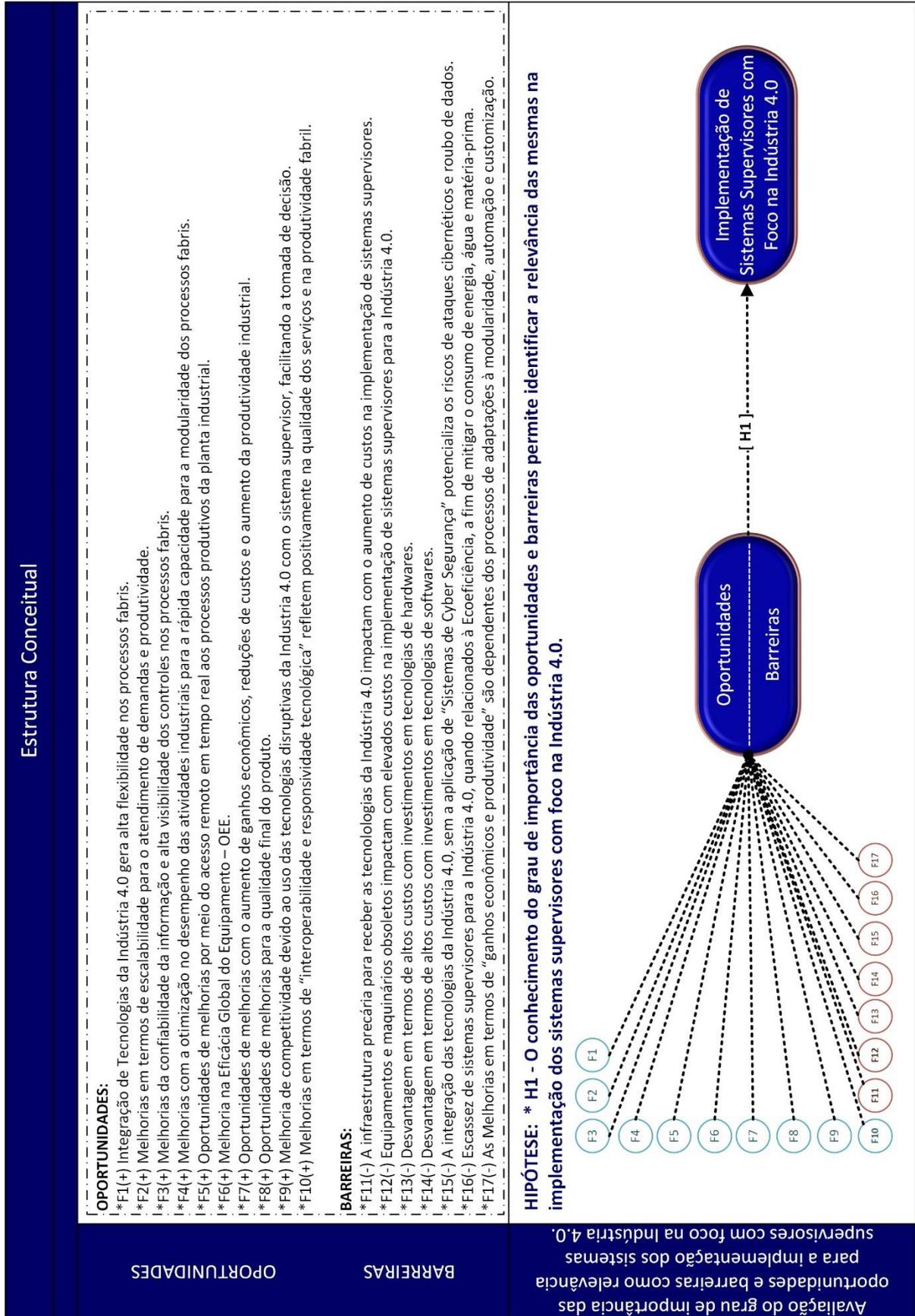
Conforme a análise de conteúdo da literatura, no portfólio das publicações relacionadas a sistemas supervisores para a Indústria 4.0, procurou-se identificar as oportunidades e barreiras, as quais influenciam na implementação desses sistemas supervisores no segmento industrial.

Referente a oportunidades, destacaram-se fatores de impacto positivos, relacionados à alta flexibilidade dos processos fabris (WANG *et al.*, 2016), melhorias em termos de escalabilidade para o atendimento de demandas para produtividade (FERNANDEZ, *et al.*, 2021), melhorias da confiabilidade da informação e controle dos processos (LOBO, 2016), otimização no desempenho e modularidade dos processos fabris (GONZALEZ *et al.*, 2018), aperfeiçoamento nos processos produtivos da planta fabril com o acesso remoto em tempo real para ganhos econômicos e reduções de custos nas atividades fabris e melhoria da qualidade final do produto (GARCÍA *et al.*, 2017), melhoria na eficácia global do equipamento – OEE e vantagens de competitividade por meio do uso das tecnologias disruptivas (MANTRAVADI; MOLLER, 2019), aumento na qualidade dos serviços e produtividade por meio da interoperabilidade e responsividade tecnológica (MANTRAVADI *et al.*, 2022; BEREGI *et al.*, 2021).

No que se refere a barreiras, destacaram-se fatores de impactos negativos, relacionados a dificuldades com a infraestrutura precária e equipamentos obsoletos resultando em custos elevados para a implementação dos sistemas supervisores (MOUEF *et al.*, 2018), altos custos com investimentos em tecnologias de *hardwares* e *softwares* (FERNÁNDEZ *et al.*, 2021), riscos de ataques cibernéticos e roubo de dados, quando as tecnologias da Indústria 4.0 não são integradas a sistemas de cibersegurança (TSUCHIYA, 2018; RANE; NARVEL, 2019), escassez de sistemas supervisores para a Indústria 4.0 quando relacionados às estratégias vinculadas à Ecoeficiência (ALARCÓN *et al.*, 2021), barreiras vinculadas a “ganhos econômicos e produtividade” as quais são dependentes dos processos de adaptações à “modularidade, automação e customização” (EL ZANT *et al.*, 2021; ARAMJA; KAMACH; ELMEZIANE, 2021).

Assim, apesar das publicações científicas apresentarem os impactos positivos e negativos em termos de oportunidades e barreiras, nenhum trabalho procurou realizar a “avaliação do grau de importância das oportunidades e barreiras para a implementação dos sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0”. Com isso, a seguinte hipótese é apresentada: (H1) - O conhecimento do grau de importância das oportunidades e barreiras permite identificar a relevância das mesmas na implementação dos sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0. Conforme contextualizado na presente subseção, a Figura 8 apresenta a estrutura conceitual do trabalho científico.

Figura 8: Estrutura Conceitual



3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta seção, apresenta-se a metodologia do presente estudo científico, com o propósito de permitir uma descrição clara e objetiva de todas as etapas que foram dadas à pesquisa, bem como a maneira, as quais foram conduzidas.

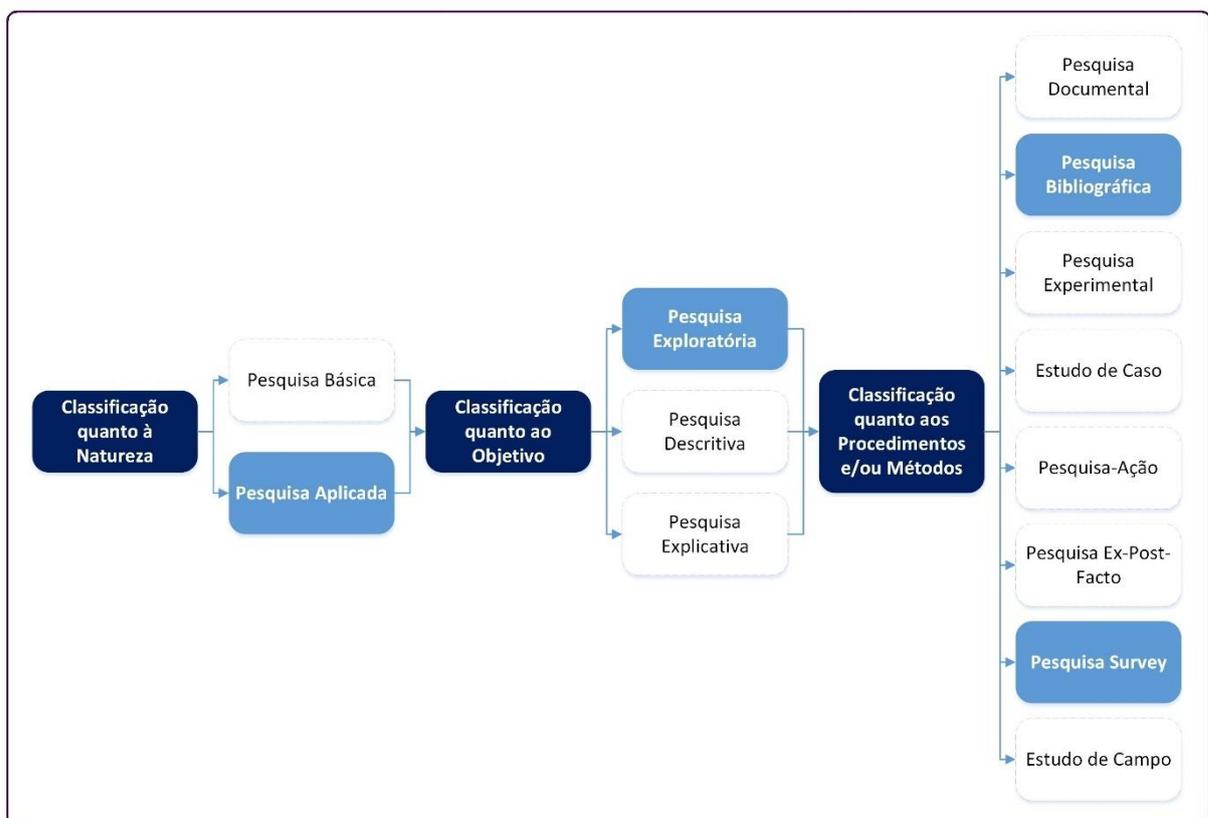
3.1. METODOLOGIA UTILIZADA

De acordo com Nakano e Freury (1997), caracteriza-se Metodologia de Pesquisa como o conjunto de conceitos para a construção de um estudo científico, o qual possibilita a seleção de dados, tipos de procedimentos, tomada de decisões e aplicações de pontos de vista.

Para Prodanov e Freitas (2013), a Metodologia de Pesquisa tem como propósito gerar conhecimentos dirigidos às soluções de problemas, por meio do uso de métodos e técnicas, que possibilitam suas respectivas soluções.

A Figura 9 apresenta os tipos de pesquisas, em termos de metodologias e seus respectivos encadeamentos, os quais são comumente utilizados em estudos científicos. Nesta figura, destaca-se a metodologia utilizada no presente estudo.

Figura 9: Tipos de Pesquisas Científicas em Termos de Metodologias



Fonte: Adaptado de Prodanov e Freitas, 2008 e Nascimento, 2022

Em termos de classificação da metodologia quanto à natureza, a Pesquisa Aplicada visa gerar conhecimentos para soluções de problemas específicos e contemporâneos, envolvendo interesses locais ou globalizados. Ademais, a Pesquisa Aplicada tem como foco a aquisição de novos conhecimentos para uma determinada área, a fim de contribuir com a ciência e seus estudos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto à classificação da metodologia relacionada aos objetivos, a Pesquisa Exploratória busca demonstrar uma ampla visão sobre um determinado tema, destacando assuntos pouco explorados na literatura científica, aperfeiçoando-os, além de acrescentar novos conhecimentos, fator relevante no que se refere à criação de valor ao tema (GIL, 2008).

No contexto da Pesquisa Bibliográfica, a mesma se relaciona à análise de informações sobre determinado tema, com base na literatura científica publicada, por meio da análise de vários trabalhos de autores e/ou pesquisadores. Esse tipo de pesquisa leva em consideração o levantamento da bibliografia já veiculada, em forma de publicações científicas, como: livros, revistas, congressos, dentre outros (MARKONI; LAKATOS, 2010).

Para a Pesquisa *Survey*, aplica-se a interrogação direta dos participantes que buscamos saber as opiniões, fazendo-se uso de algum tipo de questionário. Nessa estratégia de pesquisa, procura-se recolher as informações de um número relevante de indivíduos, e em seguida, por meio de análises quantitativas, apura-se as respectivas conclusões através de avaliações estatísticas (PRODANOV; FREITAS, 2013).

3.1.1. Revisão Bibliométrica e Análise de Conteúdo da Literatura Científica

Conforme apresentado na etapa introdutória do presente estudo, além da pesquisa bibliográfica tradicional, este trabalho também foi conduzido por meio de uma revisão bibliométrica e a análise de conteúdo da literatura sobre sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0, buscando-se identificar as oportunidades e as barreiras, as quais impactam na implementação desses sistemas supervisores nas indústrias. Por conseguinte, definiu-se o portfólio final de publicações científicas, de modo que as mesmas foram utilizadas para a fundamentação teórica do presente estudo.

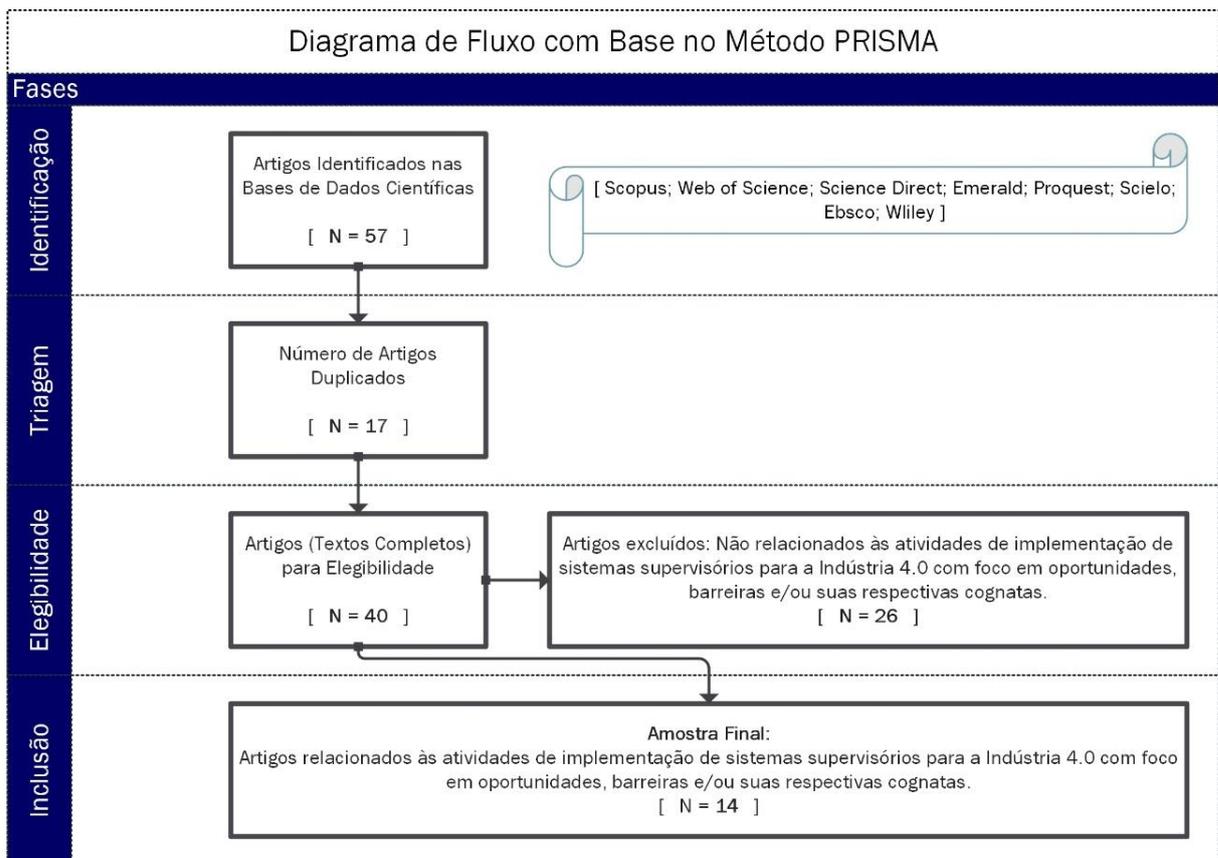
A revisão bibliométrica contribui com a identificação do número de publicações de determinado tema, apresentando dados quantitativos e elaborações de gráficos (PRITCHARD, 1969), enquanto a análise de conteúdo contribui com a avaliação de conteúdo a níveis qualitativos (BARDIN, 1986).

O protocolo adotado para a realização da revisão bibliométrica e análise de conteúdo, consistiu do método PRISMA, desenvolvido por meio de um diagrama de fluxo e uma

sequência de passos entre as fases de “identificação, triagem, elegibilidade, inclusão, exclusão e justificativas” para a avaliação dos estudos científicos pertinentes ao tema proposto (MOHER *et al.*, 2009).

De acordo com as recomendações relacionadas ao método PRISMA, na Figura 10, apresenta-se o fluxograma contendo a sequência das fases de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, além da apresentação das bases de dados utilizadas no presente estudo.

Figura 10: Fluxograma de Pesquisa do Método PRISMA



Fonte: Adaptado de Moher *et al.* (2009)

Na fase de identificação das publicações científicas do PRISMA, cinquenta e sete artigos de periódicos foram encontrados, levando-se em consideração as buscas nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct*, *Emerald*, *Proquest*, *Scielo*, *Ebsco*, *Wiley*, sem a limitação de períodos específicos.

Na fase de triagem do PRISMA, dezessete artigos científicos foram excluídos, devido a algumas publicações se encontrarem duplicadas nas bases de dados que foram pesquisadas.

Na fase de elegibilidade do PRISMA, quarenta artigos científicos foram considerados, a princípio elegíveis, os quais foram lidos por completo. Entretanto, vinte e seis artigos

científicos, não faziam referência exclusiva às atividades de implementação de sistemas supervisores para a Indústria 4.0, com foco em oportunidades, barreiras e/ou suas respectivas cognatas.

Para a fase final do PRISMA, a qual se refere à inclusão, quatorze artigos científicos foram validados, levando-se em consideração as seguintes questões de pesquisa: (i) Quais as oportunidades, vantagens, benefícios ao relacionar o projeto de implementação do sistema supervisor com foco na Indústria 4.0? (ii) Quais as barreiras, riscos, desafios ao relacionar o projeto de implementação do sistema supervisor com foco na Indústria 4.0?

Diante do exposto, a fim de validar os artigos científicos para a análise de conteúdo, considerou-se as publicações que retrataram as atividades de implementação de sistemas supervisórios para a Indústria 4.0 com foco em oportunidades, barreiras e/ou suas respectivas cognatas.

O Quadro 2 apresenta os conjuntos de palavras-chave e suas cognatas, as quais foram aplicadas nas bases de dados para as buscas das publicações científicas relacionadas ao presente estudo.

Quadro 2 – Relação do conjunto de palavras-chave

Conjuntos	Combinações das Palavras-Chave
1	"industry 4.0""supervisory system""opportunities"
2	"industry 4.0""supervisory control""opportunities"
3	"industry 4.0""manufacturing execution systems""opportunities"
4	"industry 4.0""mes""opportunities"
5	"industry 4.0""supervisory control and data acquisition""opportunities"
6	"industry 4.0""scada""opportunities"
7	"industry 4.0""supervisory system""advantages"
8	"industry 4.0""supervisory control""advantages"
9	"industry 4.0""manufacturing execution systems""advantages"
10	"industry 4.0""mes""advantages"
11	"industry 4.0""supervisory control and data acquisition""advantages"
12	"industry 4.0""scada""advantages"
13	"industry 4.0""supervisory system""benefits"
14	"industry 4.0""supervisory control""benefits"
15	"industry 4.0""manufacturing execution systems""benefits"
16	"industry 4.0""mes""benefits"
17	"industry 4.0""supervisory control and data acquisition""benefits"
18	"industry 4.0""scada""benefits"
19	"industry 4.0""supervisory system""barriers"
20	"industry 4.0""supervisory control""barriers"
21	"industry 4.0""manufacturing execution systems""barriers"
22	"industry 4.0""mes""barriers"
23	"industry 4.0""supervisory control and data acquisition""barriers"
24	"industry 4.0""scada""barriers"
25	"industry 4.0""supervisory system""risks"
26	"industry 4.0""supervisory control""risks"
27	"industry 4.0""manufacturing execution systems""risks"
28	"industry 4.0""mes""risks"
29	"industry 4.0""supervisory control and data acquisition""risks"
30	"industry 4.0""scada""risks"
31	"industry 4.0""supervisory system""challenges"
32	"industry 4.0""supervisory control""challenges"
33	"industry 4.0""manufacturing execution systems""challenges"
34	"industry 4.0""mes""challenges"
35	"industry 4.0""supervisory control and data acquisition""challenges"
36	"industry 4.0""scada""challenges"

Fonte: Autora

3.1.2. Definição do Método de Pesquisa e Procedimento de Coleta dos Dados

O método aplicado no presente estudo, trata-se de levantamento por amostragem (*sample survey*). Segundo Pinsonneaut e Kramer (1993), o *survey* é relacionado à obtenção de dados e informações de determinados grupos representativos de um público alvo, com o objetivo de criar descrições quantitativas de uma determinada população, mediante a utilização de instrumentos pré-definidos.

De acordo com Bryman (1989), o método de pesquisa *Survey* auxilia e favorece o conhecimento de determinada área de interesse, mediante coletas de dados sobre diversificados ambientes e grupos de pessoas, com a aplicação de instrumentos pré-definidos, questionários e entrevistas, de tal forma que os pesquisadores não interfiram nos respectivos resultados.

Forza (2002), salienta que o *Survey* traz contribuições para diversificadas áreas de interesse, as quais envolvem informações e coletâneas de dados através de questionários, estruturados ou semiestruturados, sobre os mais variados campos de pesquisas.

Há de se destacar que, com o passo preliminar para a utilização do método *Survey*, necessita-se da aplicação de testes pilotos (pré-testes), normalmente aplicados a especialistas da área de interesse. Esses pré-testes correspondem à aplicação do instrumento de pesquisa (questionário) em um grupo menor de indivíduos que faz parte da amostra em estudo. Nesse primeiro estágio, sugere-se que o pesquisador faça o acompanhamento direto dos respondentes, procurando esclarecer possíveis dúvidas, a fim do retorno de informações e dados com a maior precisão possível. No segundo estágio do método *Survey*, o questionário é enviado ao grupo maior de especialistas respondentes, levando em consideração que o instrumento de pesquisa (questionário) já se encontra validado, reduzindo a possibilidade de eventuais inconsistências entre as respectivas respostas dos especialistas (FORZA, 2002).

Diante do explanado, nesse estágio preliminar do *Survey*, foi aplicado um teste piloto com três especialistas, diretamente relacionados à área de pesquisa de sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0, e por conseguinte, enviados para os especialistas respondentes da amostra final, completando-se o quadro populacional elencado à pesquisa *Survey*.

3.1.3. Definição dos Testes Estatísticos e Procedimento de Análise de Dados

No que se refere ao teste estatístico, aplicado no presente estudo, avaliação do grau de importância das oportunidades e barreiras como relevância para a implementação dos sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0, foi adotado o “Teste Não-Paramétrico de *Kruskal-Wallis*”, seguido do “Teste de Comparações Múltiplas de *Holm-Sidak*”.

Conforme os autores Levin e Rubin (2004), o “Teste Não-Paramétrico de *Kruskal-Wallis*” é utilizado quando há a exigência de realizar comparações entre três ou mais grupos independentes com variáveis de denominações ordinais, procurando-se avaliar a existência de diferenças significativas entre esses grupos, além de apresentá-los sob níveis de ranqueamento em termos de grau de importância.

Campbell e Skilling (1985) destacam que o “Teste Não-Paramétrico de *Kruskal-Wallis*” é classificado como um dos mais importantes testes não-paramétricos para a análise de

diferenças entre as médias de grupos independentes, inteiramente casualizados e aplicados a níveis de *ranking*. Por conseguinte, os autores evidenciam a necessidade complementar da aplicação do “Teste de Comparações Múltiplas de *Holm-Sidak*”, visto que o mesmo localiza quais grupos deverão apresentar as médias significativamente diferentes através de comparações múltiplas.

Há de se destacar também que o “Teste Não-Paramétrico de *Kruskal-Wallis*” tem como propósito principal a análise da hipótese interna (hipótese nula), que compreende analisar se existem igualdades estatísticas entre as médias dos grupos testados. Assim, se a “hipótese nula” for rejeitada, os grupos possuem diferenças estatísticas significativas. No decorrer da análise e validação da “hipótese nula rejeitada”, na sequência realiza-se a análise de comparações múltiplas através do “Teste de *Holm-Sidak*”, o qual é responsável por identificar quais são os grupos que têm as médias estatísticas significativamente diferentes. Além disso, tratando-se de um teste não-paramétrico, também denominado como um teste sem distribuição, não se pressupõe que os dados apresentem uma distribuição normal (LEVIN; RUBIN, 2004).

Para uma interpretação clara e objetiva dos principais parâmetros relacionados aos testes estatísticos não-paramétricos, destacam-se as definições de Demsar (2006), conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros e Definições Aplicáveis aos Testes Estatísticos Não-Paramétricos

Parâmetros e Definições Aplicáveis aos Testes Estatísticos Não-Paramétricos	
(i)	• A (hipótese nula) na “estatística não-paramétrica” estabelece que as médias de todos os grupos comparados são estatisticamente iguais.
(ii)	• A rejeição dessa (hipótese nula) indica que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos testados.
(iii)	• O (P-valor) na “estatística não-paramétrica”, também chamado de “probabilidade de significância”, é responsável por rejeitar ou aceitar a “hipótese nula”.
(iv)	• Se o (P-valor) for inferior a 0,05 (5%) a “hipótese nula” é rejeitada, concluindo-se com 95% de confiança que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos testados.
(v)	• Se o (P-valor) for superior a 0,05 (5%) a “hipótese nula” é aceita, indicando a inexistência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos testados.
(vi)	• Ao estabelecer a análise das médias de todos os grupos comparados, os níveis de ranqueamento obtidos por uma classificação ordenada de agrupamento remetem aos resultados do grau de importância de cada elemento avaliado.

Fonte: Adaptado de Demsar (2006)

Para a aplicação do programa de análise estatística, utilizado no presente estudo, destaca-se o *software* “*Action Stat 3.7*”, desenvolvido sob a plataforma R, tratando-se de uma linguagem de programação estatística de uso Global.

O “*Action Stat 3.7*”, refere-se a um sistema computacional que permite a integração com o Microsoft Excel, potencializando uma gama de ferramentas para aplicações de análises

estatísticas paramétricas, não-paramétricas, análise de comparações múltiplas, modelos de regressão e análises gráficas avançadas (ACTION, 2021).

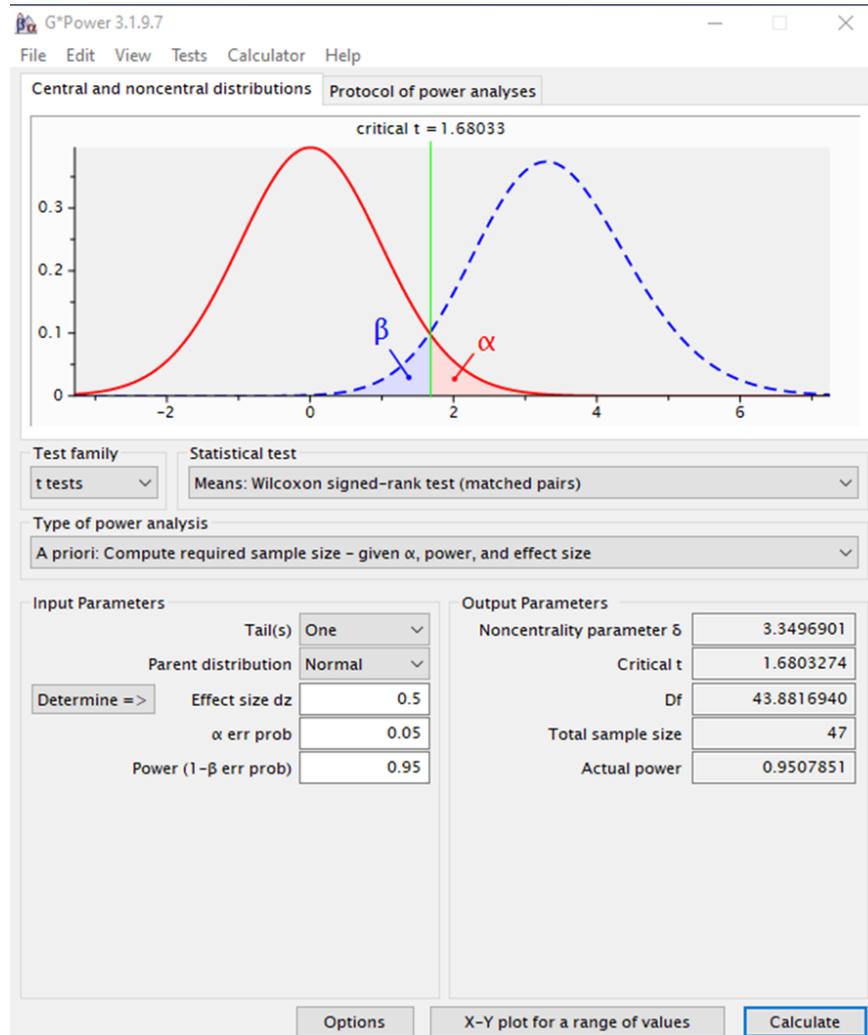
Em relação ao software estatístico para a avaliação do tamanho da amostra, utilizou-se o programa “*G*Power* 3.1.9.7”, referindo-se a uma aplicação computacional que permite avaliar a relação entre a variação das médias da amostra e a variação interna das amostras. Com isso, para os testes não-paramétricos, considera-se os valores de “*effect size dz*” dentre os parâmetros nos valores (0.2; 0.5; 0.8), representando respectivamente os tamanhos do efeito “pequeno; médio; grande” (COHEN, 1988).

No presente estudo, adotou-se o tamanho do efeito de nível médio, o qual equivale ao parâmetro (0.5) em relação ao campo “*effect size dz*” para aplicações de testes não-paramétrico

Em testes estatísticos não-paramétricos, para a denominação do poder do teste ($1 - \beta$), considera-se mais crítico cometer um erro do tipo (I) do que um erro do tipo (II). O erro de tipo (I) decorre da rejeição da hipótese nula verdadeira, e o erro de tipo (II) decorre da hipótese nula falsa. Sendo assim, a probabilidade de ocorrer um erro do tipo (I) é caracterizada como alpha (α), referindo-se ao nível de significância dos testes de hipóteses. Levando-se em consideração o alpha (α), igual a 0,05, com o poder do teste ($1 - \beta$), igual a 0,95, o erro de tipo (II) é mais provável acontecer, do que um erro de tipo (I) (COHEN, 1988).

Ao considerar os parâmetros apresentados, realizou-se os cálculos no programa *G*Power*, identificando-se um tamanho amostral mínimo, equivalente a 47 respondentes para o *Survey*, conforme indicado na Figura 11, no entanto, para a amostra final coletada, considerou-se a obtenção de um número de repostas de 55 especialistas.

Figura 11: Teste do Tamanho Mínimo da Amostra no G*Power



Fonte: Autora

No estágio relacionado à *Survey*, os especialistas da área (Diretores, Gerentes, Supervisores), os quais representam as empresas que utilizam os sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0, responderam ao questionário, utilizando o formulário “*Google Forms*”, sendo o mesmo enviado por e-mail, conforme apresentado no “Apêndice 1”.

Após o retorno dos questionários respondidos, os dados foram tabulados, reorganizados e formatados, a fim de aplicá-los no programa “*Action Stat 3.7*” para a realização das análises estatísticas (Testes Não-Paramétricos).

No Quadro 4, são apresentados os modelos de análises estatísticas (testes não-paramétricos) que foram utilizados no presente estudo, além de suas respectivas avaliações e questões vinculadas às mesmas.

Quadro 4 – Testes Não-Paramétricos, Tipo de Avaliação, Questões Vinculadas

	Testes Estatísticos (Não-Paramétricos)	Tipo de Avaliação	Questões Vinculadas aos Testes Estatísticos	
Oportunidades	(Teste de Kruskal-Wallis) & (Holm-Sidak)	Avaliação do Grau de Importância das Oportunidades como relevância para a Implementação dos Sistemas Supervisores com Foco na Indústria 4.0	Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10	Questionário unificado - (Apêndice 1)
Barreiras	(Teste de Kruskal-Wallis) & (Holm-Sidak)	Avaliação do Grau de Importância das Barreiras como relevância para a Implementação dos Sistemas Supervisores com Foco na Indústria 4.0	Q11 Q12 Q13 Q14 Q15 Q16 Q17	

Fonte: Autora

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA E A ESTATÍSTICA NÃO-PARAMÉTRICA

Diante dos resultados relacionados ao instrumento de pesquisa (Questionário Semiestruturado) apresentado no Apêndice 1, procurou-se avaliar o grau de importância das oportunidades e barreiras para a implementação de sistemas supervisores em empresas com foco na Indústria 4.0, destacando-se para o constructo “Oportunidades” as questões de (1 a 10), e para o Constructo “Barreiras” as questões de (11 a 17).

4.1.1. Resultados da Análise Estatística Descritiva Referente ao Constructo Oportunidades

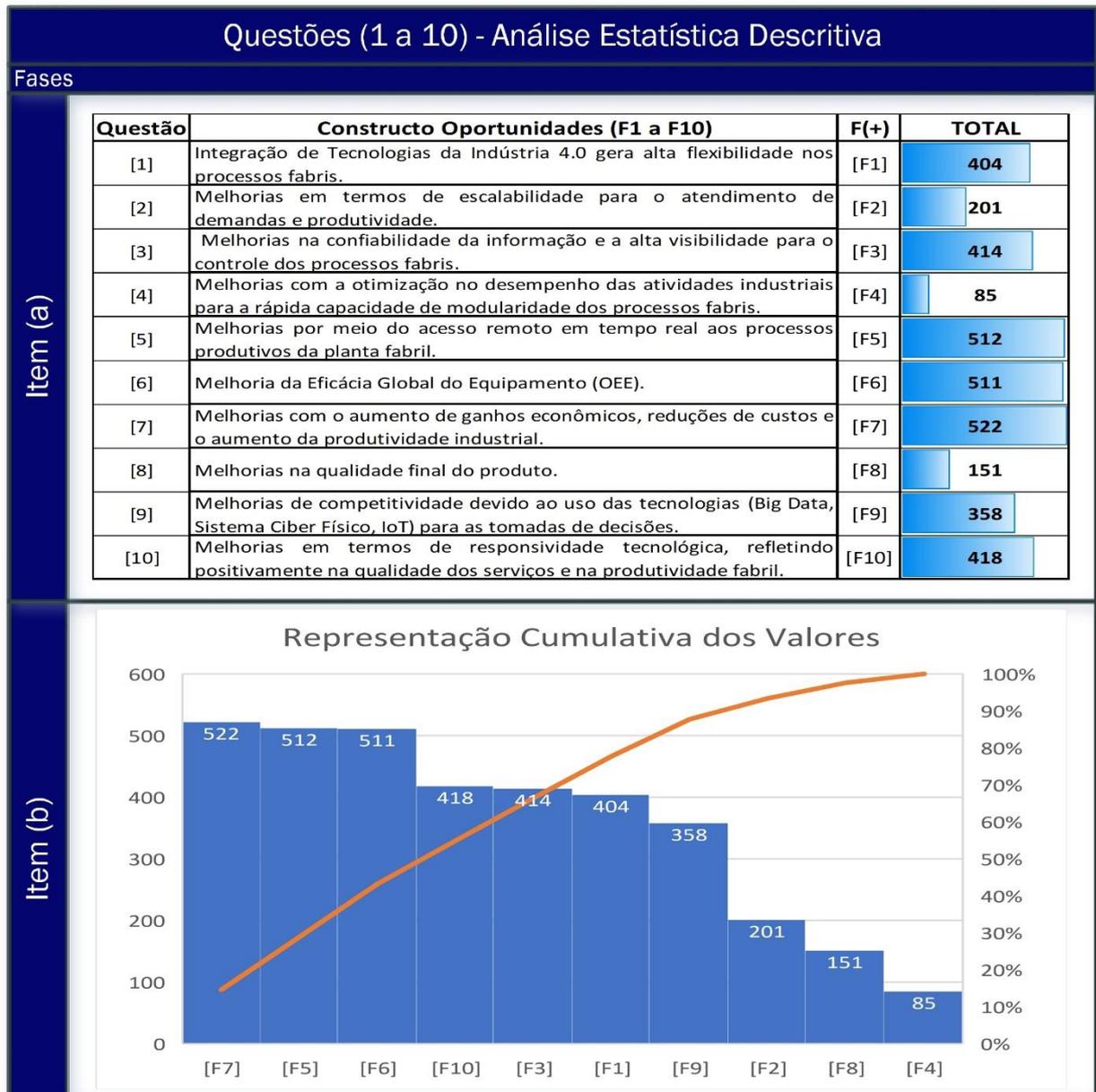
No que se refere à análise descritiva das respostas dos 55 especialistas, vinculadas ao constructo “Oportunidades”, a Figura 12 apresenta a somatória das suas respectivas pontuações e a representação cumulativa dos valores para as questões (1 a 10).

As tendências de pontuações mais elevadas, conforme a representação cumulativa dos valores da Figura 12 (apresentada em ordem decrescente), referiram-se a:

- (F7) Melhorias com o aumento de ganhos econômicos, reduções de custos e o aumento da produtividade industrial;
- (F5) Melhorias por meio do acesso remoto em tempo real aos processos produtivos da planta fabril.
- (F6) Melhoria da eficácia global do equipamento – OEE;
- (F10) Melhorias em termos de responsividade tecnológica, refletindo positivamente na qualidade dos serviços e na produtividade fabril;
- (F3) Melhorias na confiabilidade da informação e a alta visibilidade para o controle dos processos fabris;
- (F1) Integração de tecnologias da Indústria 4.0, a qual gera alta flexibilidade nos processos fabris;
- (F9) Melhorias de competitividade devido ao uso das tecnologias *Big Data*, Sistema Ciber Físico e *IoT* para as tomadas de decisões;
- (F2) Melhorias em termos de escalabilidade para o atendimento de demandas e produtividade;
- (F8) Melhorias na qualidade final do produto;

- (F4) Melhorias com a otimização no desempenho das atividades industriais para a rápida capacidade de modularidade dos processos fabris.

Figura 12: Análise Estatística Descritiva do Constructo “Oportunidades”



Fonte: Autora

4.1.2. Resultados da Análise Estatística Não-Paramétrica Referente ao Constructo Oportunidades

Diante dos resultados da análise não-paramétrica referente ao constructo “Oportunidades”, as quais se encontram relacionadas às questões de 1 a 10, conforme apresentado na Figura 13, o “P-valor = $7,97075 \times 10^{-89}$ ” do “Teste de *Kruskal-Wallis*” foi

inferior a 0,05, denotando-se a rejeição da hipótese nula interna, o que indica que existem diferenças estatisticamente significativas com 95% de confiança, em pelo menos dois grupos analisados no sistema.

Na sequência do “Teste de *Kruskal-Wallis*”, a análise de comparações múltiplas “*Holm-Sidak*” avaliou “par-a-par” a hipótese nula de que as médias dos grupos são estatisticamente iguais, ou seja, se há ou não diferenças estatisticamente significativas entre as médias desses grupos comparados.

Conforme os resultados relacionados ao “P-valor” das combinações, por meio do “Teste de *Holm-Sidak*”, validou-se a rejeição da hipótese nula, constatando a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as combinações que apresentaram valores menores que (0,05) na coluna respectiva ao “P-valor”. Para as combinações com o “P-valor” superior a (0,05) não existem diferenças estatisticamente significativas entre os respectivos fatores comparados.

Na classificação ordenada da “Tabela de Agrupamentos” da Figura 13, apresenta-se o ranqueamento das médias de cada Fator (Oportunidade) analisado, considerando que fatores alocados em um mesmo grupo de letras têm médias (não estatisticamente significativas entre si), em contrapartida, fatores alocados em grupos com diferentes letras têm médias (estatisticamente significativas entre si).

Diante da interpretação dos resultados apresentados na Figura 13, os fatores (Oportunidades) alocados no grupo “a” possuem médias maiores que os fatores (Oportunidades) dos grupos “b, c, d, e”, o que denota maior “Grau de Importância” aos fatores (Oportunidades) deste primeiro grupo, entretanto, na solução do sistema estatístico de *Kruskal-wallis* e o teste de *Holm-Sidak*, não se pode afirmar estatisticamente que “F7” tenha maior “Grau de Importância” do que “F5 ou F6”, devido aos mesmos fazerem parte de um mesmo grupo, com isso, aplica-se a mesma lógica aos demais grupos subsequentes.

Figura 13: Análise Estatística Não-Paramétrica do Constructo “Oportunidades”

Questões (1 a 10) - Análise Estatística Não-Paramétrica				
Teste de Kruskal-Wallis				
Informação		Valor		
Kruskal-Wallis qui-quadrado		438,565683		
Graus de Liberdade		9		
P-valor		7,97075E-89		
Tabela da Comparação Múltipla - FWER (Holm-Sidak)				
Fatores Comparados	Diferença Observada	Estatística	P-valor	P-valor ajustado
F1 - F10	14	4,849742261	0,07506764	0,080793353
F1 - F2	203	0,299172412	0,000422016	0,005916083
F1 - F3	10	7,652515386	0,08405846	0,088655621
F1 - F4	319	5,400849336	6,63261E-08	1,5255E-06
F1 - F5	108	5,337865671	9,40471E-08	2,06904E-06
F1 - F6	107	5,951956411	2,64956E-09	7,15381E-08
F1 - F7	118	5,936210495	2,91685E-09	7,58382E-08
F1 - F8	253	1,385640646	2,91685E-09	7,58382E-08
F1 - F9	46	0,472377493	3,81787E-09	6,53353E-09
F10 - F2	217	5,148914673	2,61998E-07	5,23996E-06
F10 - F3	4	2,802773125	0,05506653	0,060798356
F10 - F4	333	10,2505916	2,14782E-06	3,73128E-04
F10 - F5	94	10,18760793	3,87582E-03	4,43324E-04
F10 - F6	93	10,80169867	5,57388E-06	6,12423E-07
F10 - F7	104	1,086468234	2,21385E-06	3,56371E-07
F10 - F8	267	3,464101615	0,000532006	0,006916072
F10 - F9	60	5,322119754	1,02565E-07	2,15387E-06
F2 - F3	213	7,951687798	1,77636E-15	6,21725E-14
F2 - F4	116	5,101676924	3,36657E-07	6,39648E-06
F2 - F5	311	5,038693258	4,68721E-07	8,43698E-06
F2 - F6	310	5,652783999	1,5787E-08	3,94674E-07
F2 - F7	321	6,235382907	4,50674E-10	1,26189E-08
F2 - F8	50	1,684813058	0,092024645	0,828221802
F2 - F9	157	0,173205081	4,85427E-03	5,54312E-05
F3 - F4	329	13,05336472	2,13381E-03	3,33432E-04
F3 - F5	98	12,99038106	4,15385E-06	5,91626E-07
F3 - F6	97	13,6044718	3,59758E-06	5,22477E-07
F3 - F7	108	1,716304891	6,21773E-05	7,55334E-04
F3 - F8	263	6,26687474	3,68366E-10	1,06826E-08
F3 - F9	56	8,124892879	4,44089E-16	1,59872E-14
F4 - F5	427	0,062983666	5,81787E-09	8,43343E-09
F4 - F6	426	0,551107075	8,87782E-09	9,52361E-09
F4 - F7	437	11,33705983	8,17398E-06	9,32525E-07
F4 - F8	66	6,786489982	1,14895E-11	3,67663E-10
F4 - F9	273	4,928471843	8,28753E-07	1,40888E-05
F5 - F6	1	0,614090741	0,839155366	0,949779511
F5 - F7	10	11,27407617	0,647133354	0,723374531
F5 - F8	361	6,723506317	1,77403E-11	5,49948E-10
F5 - F9	154	4,865488178	1,14175E-06	1,82679E-05
F6 - F7	11	11,88816691	0,732253372	0,815677813
F6 - F8	360	7,337597058	2,17382E-13	7,1736E-12
F6 - F9	153	5,479578918	4,26339E-08	1,02321E-06
F7 - F8	371	4,550569849	5,35008E-06	7,49012E-05
F7 - F9	164	6,408587988	1,46873E-10	4,4062E-09
F8 - F9	207	1,858018139	1,81732E-03	2,73357E-04
Tabela dos Agrupamentos				
Fatores	Soma (Rank)	Grupos		
F7	522	a		
F5	512	a		
F6	511	a		
F10	418	b		
F3	414	b		
F1	404	b		
F9	358	c		
F2	201	d		
F8	151	d		
F4	85	e		

Fonte: Autora

A Figura 14 apresenta os resultados em termos de classificação ordenada do grau de importância das “Oportunidades” para a implementação de sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0. Sendo assim, a oportunidade (F7) Melhorias com o aumento de ganhos econômicos, reduções de custos e o aumento da produtividade industrial, não tem o grau de importância mais elevado que as oportunidades (F5) Melhorias por meio do acesso remoto em tempo real aos processos produtivos da planta fabril, (F6) Melhoria da Eficácia Global do Equipamento, por outro lado, as mesmas têm uma representatividade maior, em termos de grau de importância, quando comparadas às demais “Oportunidades” que se encontram distribuídas nos subsequentes e diferentes grupos. Segue-se essa mesma lógica interpretativa para os demais grupos que se encontram na sequência, obtendo-se assim, o ranqueamento final de toda estrutura analisada nos testes não-paramétricos de *Kruskal-Wallis* e *Holm-Sidak* para o constructo “Oportunidades”.

Figura 14: Classificação Ordenada do Grau de Importância das Oportunidades

Grau de Importância das Oportunidades					
Ranqueamento	Grupos	Ranqueamento do Grau de Importância das Oportunidades para a Implementação de Sistemas supervisores com Foco na Indústria 4.0	F(+)	Total	[Rank]
	Ranqueamento	[a]	<ul style="list-style-type: none"> Melhorias com o aumento de ganhos econômicos, reduções de custos e o aumento da produtividade industrial. Melhorias por meio do acesso remoto em tempo real aos processos produtivos da planta fabril. Melhoria da Eficácia Global do Equipamento (OEE). 	[F7]	522
			[F5]	512	
			[F6]	511	
[b]		<ul style="list-style-type: none"> Melhorias em termos de responsividade tecnológica, refletindo positivamente na qualidade dos serviços e na produtividade fabril. Melhorias na confiabilidade da informação e a alta visibilidade para o controle dos processos fabris Integração de Tecnologias da Indústria 4.0 gera alta flexibilidade nos processos fabris. 	[F10]	418	
			[F3]	414	
		[F1]	404		
[c]	<ul style="list-style-type: none"> Melhorias de competitividade devido ao uso das tecnologias (Big Data, Sistema Ciber Físico, IoT) para as tomadas de decisões. 	[F9]	358		
[d]	<ul style="list-style-type: none"> Melhorias em termos de escalabilidade para o atendimento de demandas e produtividade. Melhorias na qualidade final do produto. 	[F2]	201		
		[F8]	151		
[e]	<ul style="list-style-type: none"> Melhorias com a otimização no desempenho das atividades industriais para a rápida capacidade de modularidade dos processos fabris. 	[F4]	85		

4.1.3. Resultados da Análise Estatística Descritiva Referente ao Constructo Barreiras

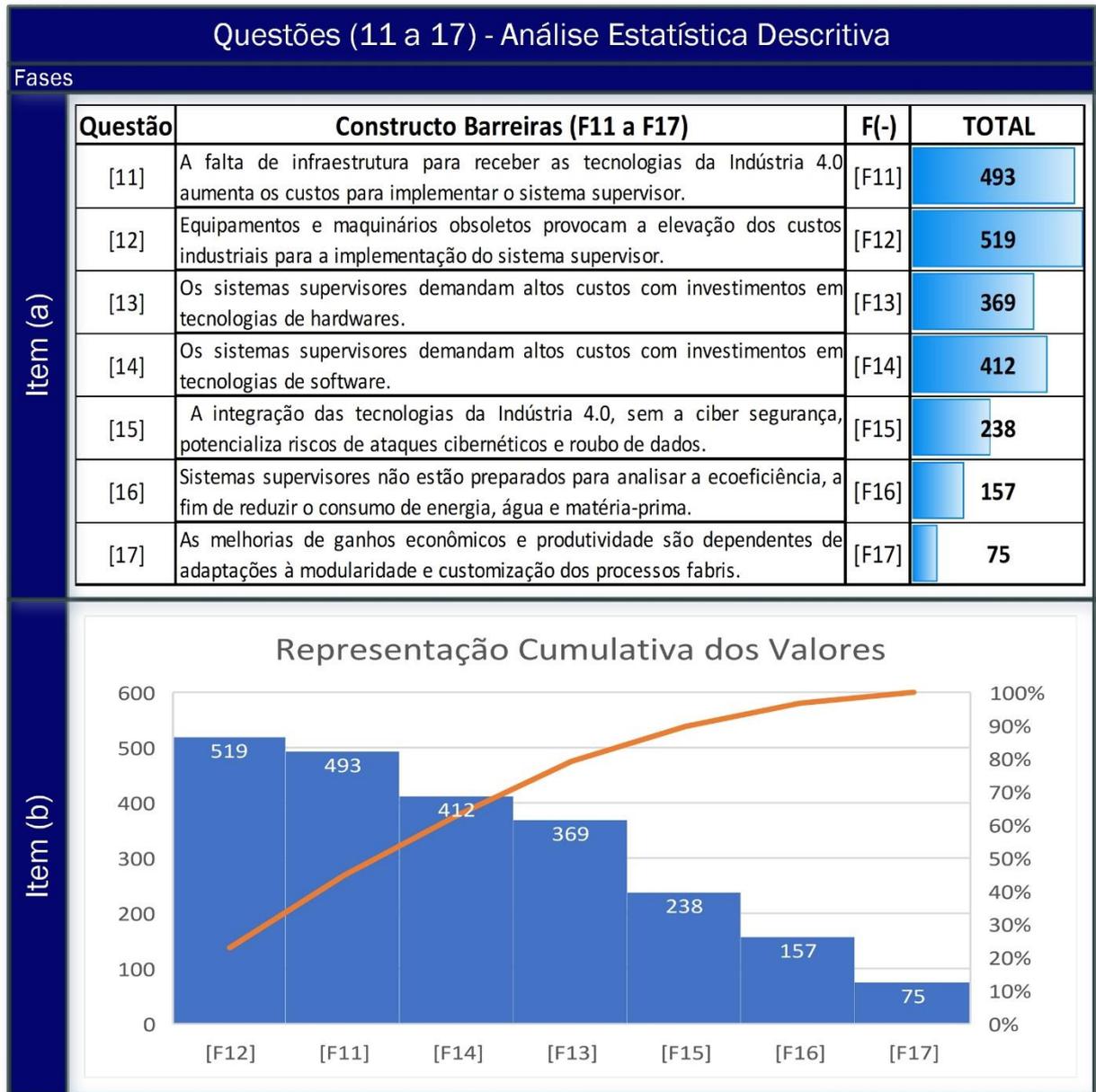
Para a análise descritiva das repostas dos 55 especialistas relacionadas ao constructo “Barreiras”, a Figura 15 apresenta a somatória das suas respectivas pontuações, além da representação cumulativa dos valores para as questões (11 a 17).

Em termos de barreiras, as tendências de pontuações mais elevadas referiram-se a:

- (F12) Equipamentos e maquinários obsoletos que provocam a elevação dos custos industriais para a implementação do sistema supervisor;

- (F11) Falta de infraestrutura para receber as tecnologias da Indústria 4.0 que aumenta os custos para implementar o sistema supervisor;
- (F14) Sistemas supervisores que demandam altos custos com investimentos em tecnologias de *software*;
- (F13) Sistemas supervisores que demandam altos custos com investimentos em tecnologias de *hardware*;
- (F15) A integração das tecnologias da Indústria 4.0 sem o sistema de cibersegurança potencializa riscos de ataques cibernéticos e roubo de dados;
- (F16) Sistemas supervisores não estão preparados para analisar ecoeficiência a fim de reduzir o consumo de energia, água e matéria-prima;
- (F17) Melhorias de ganhos econômicos e produtividade são dependentes de adaptações à modularidade e customização dos processos fabris.

Figura 15: Análise Estatística Descritiva do Constructo “Barreiras”



Fonte: Autora

4.1.4. Resultados da Análise Estatística Não-Paramétrica Referente ao Constructo Barreiras

Para os resultados da análise não-paramétrica relativa ao constructo “Barreiras”, as quais se encontram relacionadas às questões de 11 a 17, conforme apresentado na Figura 16, o “P-valor = $2,02606 \times 10^{-62}$ ” do “Teste de *Kruskal-Wallis*” foi inferior a 0,05, denotando-se a rejeição da hipótese nula interna, o que indica que existem diferenças estatisticamente significativas com 95% de confiança, em pelo menos dois grupos analisados no sistema.

Sequencialmente ao “Teste de *Kruskal-Wallis*”, a análise de comparações múltiplas “*Holm Sidak*” avaliou “par-a-par” a hipótese nula de que as médias dos grupos são estatisticamente iguais, ou seja, se há ou não diferenças estatisticamente significativas entre as médias desses grupos comparados.

Diante dos resultados relacionados ao “P-valor” das combinações, por meio do “Teste de *Holm-Sidak*”, validou-se a rejeição da hipótese nula, constatando a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as combinações que apresentaram valores menores que (0,05) na coluna respectiva ao “P-valor”. Para as combinações com o “P-valor” superior a (0,05) não existem diferenças estatisticamente significativas entre os respectivos fatores comparados.

Em relação à classificação ordenada da “Tabela de Agrupamentos” da Figura 16, apresenta-se o ranqueamento das médias de cada Fator (Barreiras) analisado, considerando que fatores alocados em um mesmo grupo de letras têm médias (não estatisticamente significativas entre si), em contrapartida, fatores alocados em grupos com diferentes letras têm médias (estatisticamente significativas entre si).

Para a interpretação dos resultados apresentados na Figura 16, os fatores (Barreiras) alocados no grupo “a” possuem médias maiores que os fatores (Barreiras) dos grupos “b, c, d, e”, o que denota maior “Grau de Importância” aos fatores (Barreiras) deste primeiro grupo, entretanto, na solução do sistema estatístico de *Kruskal-wallis* e o teste de *Holm-Sidak*, não se pode afirmar estatisticamente que “F12” tenha maior “Grau de Importância” do que “F11”, devido aos mesmos fazerem parte de um mesmo grupo, com isso, aplica-se a mesma lógica aos demais grupos subsequentes.

Figura 16: Análise Estatística Não-Paramétrica do Constructo “Barreiras”

Questões (11 a 17) - Análise Estatística Não-Paramétrica					
Teste de Kruskal-Wallis					
Informação		Valor			
Kruskal-Wallis qui-quadrado		302,8285714			
Graus de Liberdade		6			
P-valor		2,02606E-62			
Tabela da Comparação Múltipla - FWER (Holm-Sidak)					
Fatores Comparados	Diferença Observada	Estatística	P-valor	P-valor ajustado	
F11 - F12	26	1,125486908	0,260382762	0,260382762	
F11 - F13	124	4,325400665	1,52255E-05	0,000121804	
F11 - F14	81	2,780614713	0,005425609	0,027128044	
F11 - F15	255	7,679793017	1,59872E-14	2,23821E-13	
F11 - F16	336	9,820424978	1,85848E-13	2,53323E-14	
F11 - F17	418	12,04933042	2,29855E-14	3,37812E-13	
F12 - F13	150	5,450887572	5,0119E-08	5,5131E-07	
F12 - F14	107	3,906101621	9,37971E-05	0,00065658	
F12 - F15	281	8,805279924	1,62295E-14	2,14733E-13	
F12 - F16	362	10,94591189	1,59332E-14	2,02723E-13	
F12 - F17	444	13,17481733	2,79834E-14	3,73532E-13	
F13 - F14	43	1,544785952	0,122398046	0,244796093	
F13 - F15	131	3,354392352	0,000795395	0,00477237	
F13 - F16	212	5,495024314	3,90657E-08	4,68788E-07	
F13 - F17	294	7,723929758	1,13243E-14	1,69864E-13	
F14 - F15	174	4,899178304	9,62383E-07	9,62383E-06	
F14 - F16	255	7,039810265	1,92513E-12	2,50266E-11	
F14 - F17	337	9,26871571	1,49775E-14	2,63522E-13	
F15 - F16	81	2,140631962	0,032303729	0,096911188	
F15 - F17	163	4,369537406	1,2451E-05	0,000112059	
F16 - F17	82	2,228905444	0,025820197	0,096911188	
Tabela dos Agrupamentos					
Fatores	Soma (Rank)	Grupos			
F12	519	a			
F11	493	a			
F14	412	b			
F13	369	b			
F15	238	c			
F16	157	d			
F17	75	e			

Teste de Kruskal-Wallis

Fonte: Autora

Na Figura 17 são apresentados os resultados em termos de classificação ordenada do grau de importância das “Barreiras” para a implementação de sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0. Sendo assim, a barreira (F12) Equipamentos e maquinários obsoletos provocam a elevação dos custos industriais para a implementação do sistema supervisor, não tem o grau de importância mais elevado que a barreira (F11) Falta de infraestrutura para receber as tecnologias da Indústria 4.0 aumenta os custos para implementar o sistema supervisor, entretanto, essas “Barreiras” do grupo (a) têm uma representatividade maior, em termos de grau de importância, quando comparadas às demais “Barreiras” que se encontram distribuídas nos subsequentes e diferentes grupos. Segue-se essa mesma lógica interpretativa para os demais grupos que se encontram na sequência, obtendo-se assim, o ranqueamento final de toda estrutura analisada nos testes não-paramétricos de *Kruskal-Wallis* e *Holm-Sidak* para o constructo “Barreiras”.

Figura 17: Classificação Ordenada do Grau de Importância das Barreiras

Grau de Importância das Barreiras						
Ranqueamento	Grupos	Ranqueamento do Grau de Importância das Barreiras para a Implementação de Sistemas supervisores com Foco na Indústria 4.0	F(+)	Total	[Rank]	
	[a]	• Equipamentos e maquinários obsoletos provocam a elevação dos custos industriais para a implementação do sistema supervisor.		[F12]	519	
		• A falta de infraestrutura para receber as tecnologias da Indústria 4.0 aumenta os custos para implementar o sistema supervisor.		[F11]	493	
	[b]	• Os sistemas supervisores demandam altos custos com investimentos em tecnologias de software.		[F14]	412	
		• Os sistemas supervisores demandam altos custos com investimentos em tecnologias de hardwares.		[F13]	369	
	[c]	• A integração das tecnologias da Indústria 4.0, sem a ciber segurança, potencializa riscos de ataques cibernéticos e roubo de dados.		[F15]	238	
[d]	• Os sistemas supervisores não estão preparados para analisar a ecoeficiência, a fim de reduzir o consumo de energia, água e matéria-prima.		[F16]	157		
[e]	• As melhorias de ganhos econômicos e produtividade são dependentes de adaptações à modularidade e customização dos processos fabris.		[F17]	75		

Fonte: Autora

5. DISCUSSÕES

Diante das interpretações dos resultados atribuídos ao grau de importância das oportunidades para a implementação de sistemas supervisores em empresas com foco na Indústria 4.0, destacaram-se no primeiro grupo de importância, as oportunidades:

- Melhorias com o aumento de ganhos econômicos, reduções de custos e o aumento da produtividade industrial.
- Melhorias por meio do acesso remoto em tempo real aos processos produtivos da planta fabril
- Melhoria da Eficácia Global do Equipamento – OEE.

Das atribuições mais elevadas nesse primeiro grupo, as “Melhorias com o aumento de ganhos econômicos, reduções de custos e o aumento da produtividade”, dizem respeito aos sistemas supervisores, que aliados às tecnologias da Indústria 4.0, proporcionam a gestão online e acesso tecnológico virtual dos processos fabris, criando-se possibilidades de correções de processos ineficientes e detecções de falhas nas atividades do chão-de-fábrica, permitindo o aprimoramento da produtividade fabril, o que reflete em ganhos econômicos e consequentes reduções de custos. Em relação à literatura científica, apesar de não apresentar o grau de importância das oportunidades, os resultados do presente estudo corroboram com Garcia *et al.* (2017), os quais relataram a relevância dos sistemas supervisores da Indústria 4.0 para a virtualização e automatização dos processos fabris, a fim de promover melhorias da produtividade, junto aos ganhos econômicos combinados a reduções de custos.

Em continuidade às melhores classificadas nesse primeiro grupo, a oportunidade “Melhorias por meio do acesso remoto em tempo real aos processos produtivos”, remete à gestão facilitada de todos os processos fabris em tempo real, permitindo maior assertividade na tomada de decisão e atuações rápidas para ações corretivas, tornando mais assertiva e preditiva as ações necessárias para a melhoria de toda a produtividade fabril. Ademais, com o monitoramento em tempo real, informações corretas e confiáveis são compartilhadas rapidamente, objetivando o alcance dos melhores resultados na área de produção do chão-de-fábrica. Na literatura científica, esse resultado está de acordo com Garcia *et al.* (2017), os quais destacam que o acesso remoto em tempo real, proporcionado pela implementação do sistema supervisor direcionado à Indústria 4.0, é um fator essencial para a visibilidade e o ganho de produtividade na planta industrial.

Ainda nesse primeiro grupo, a oportunidade as “Melhoria da Eficácia Global do Equipamento – OEE”, denota-se a importância da mesma ao monitoramento dos indicadores

utilizados para acompanhar a disponibilidade impactada pelas paradas de máquinas, a performance para manter sempre as máquinas trabalhando na velocidade programada, além da qualidade dos produtos e/ou peças produzidas que integram o sistema produtivo. Na literatura científica, embora as publicações tenham relacionado melhorias por meio do acesso remoto em tempo real na planta fabril (GARCIA *et al.*, 2017) e melhoria da eficácia global do equipamento (MANTRAVADI; MOLLER, 2019), nenhuma pesquisa científica avaliou o grau de importância das oportunidades para a implementação dos sistemas supervisores em empresas com foco na Indústria 4.0.

No segundo grupo das melhores ranqueadas, a oportunidade “Melhorias em termos de responsividade tecnológica, a qual reflete positivamente na qualidade dos serviços e na produtividade fabril”, baseia-se na capacidade do sistema supervisor em responder, com extrema rapidez e flexibilidade às demandas da cadeia produtiva, sem impactar nos níveis de qualidade de seus respectivos processos, conseqüentemente, proporcionadas por meio da interação com as tecnologias da Indústria 4.0 agregadas ao sistema. Convergente à importância dessa oportunidade bem classificada, Beregi *et al.* (2021) destacam que a responsividade e a interoperabilidade (vinculadas ao sistema supervisor) são fatores influenciadores que impactam de forma positiva na agilidade e qualidade dos processos fabris.

Nesse segundo grupo, para a oportunidade “Melhorias na confiabilidade da informação e a alta visibilidade para o controle dos processos fabris”, os sistemas supervisores para a Indústria 4.0 proporcionam vantagens à cadeia produtiva por meio da virtualização, digitalização e a aplicação das tecnologias disruptivas, promovendo oportunidades de melhorias na confiabilidade das informações e a alta capacidade de visibilidade dos processos fabris. Na literatura científica, condizente a essa oportunidade bem pontuada, Lobo (2016) destaca que, a transitoriedade de sistemas supervisores tradicionais para sistemas supervisores da Indústria 4.0 proporciona o aumento na confiabilidade da informação, além da maior capacidade em termos de perceptividade e transparência para o controle dos processos fabris.

Ainda no segundo grupo de classificação, a oportunidade “Integração de tecnologias da Indústria 4.0, a qual gera alta flexibilidade nos processos fabris”, quando aliada aos sistemas supervisores da Indústria 4.0, possibilita à cadeia produtiva fabril, a realização de coletas e armazenamentos de dados em larga escala, com alta velocidade de processamento, além da versatilidade no gerenciamento das informações, obtendo-se, instantaneamente, gerações de relatórios de ciclos de trabalhos das máquinas e a alta flexibilidade para a rápida tomada de decisão, aumentando a produtividade, otimizando os recursos e diminuindo as perdas na linha de produção. Confirmando essa oportunidade bem pontuada, Wang *et al.* (2016) evidencia que

a integração das tecnologias relacionada aos sistemas supervisores, tem como vantagem a criação de resultados efetivos para a gestão e controle das atividades fabris, obtendo-se a otimização do desempenho em toda a cadeia produtiva.

No terceiro grupo, a oportunidade “Melhorias de competitividade devido ao uso das tecnologias, *Big Data*, Sistema Ciber Físico e *IoT* para as tomadas de decisões”, auxilia no gerenciamento e melhoria dos processos produtivos, possibilitando a otimização da cadeia produtiva em tempo real, além da mitigação de perdas na produção, fatores essenciais que tornam a empresa mais competitiva nesse mercado globalizado. Essa oportunidade classificada ao nível intermediário, Mandravadi e Moller (2019) evidenciam que a empresa se torna mais competitiva quando implementa o sistema supervisor, o qual tem em sua base principal a integração das tecnologias (*Big Data*, Sistema Ciber Físico e *IoT*), proporcionando melhorias vinculadas a era da transformação digital da Indústria 4.0.

Em relação ao quarto grupo, a oportunidade “Melhorias em termos de escalabilidade para o atendimento de demandas e produtividade” remete ao fato dos sistemas supervisores para a Indústria 4.0 proporcionarem melhorias na capacidade da empresa em aumentar a sua demanda fabril, sem diminuir a qualidade de seus produtos fabricados, além de manter o equilíbrio dos valores de mercado. Na literatura científica, Accorsi *et al.* (2020) destacam os sistemas supervisores da Indústria 4.0 como ferramentas impulsionadoras para alcançar a escalabilidade, a fim de aumentar a produção fabril, sem impactar na qualidade final dos materiais produzidos.

Ainda no quarto grupo, a oportunidade “Melhorias na qualidade final do produto”, quando vinculada aos sistemas supervisores da Indústria 4.0, permite às indústrias a otimização de seus processos fabris, promovendo o aumento na qualidade final do produto, devido ao monitoramento virtual e simultâneo da cadeia produtiva. Na literatura científica, Garcia *et al.* (2017) salientam que a melhoria para a qualidade final do produto se deve ao fato do sistema supervisor e as respectivas tecnologias da Indústria 4.0 proporcionarem a virtualização, a otimização e o monitoramento de todos os processos da cadeia de produção.

No quinto e último grupo, a oportunidade “Melhorias com a otimização no desempenho das atividades industriais para a rápida capacidade de modularidade dos processos fabris”, refere-se ao sistema supervisor em criar possibilidade para que a cadeia produtiva possa realizar adaptações, permitindo que módulos sejam acoplados e desacoplados, conforme a demanda da fábrica, fornecendo flexibilidade para alterações de tarefas. Na literatura científica, Gonzalez *et al.* (2018) enfatizam que a capacidade de modularidade proporcionada pelos sistemas supervisores, é dependente das tecnologias da Indústria 4.0, as quais flexibilizam os processos

de acoplamento e desacoplamento dos módulos vinculados aos postos de trabalho no chão-de-fábrica.

Para a interpretação dos resultados atribuídos ao grau de importância das barreiras com a implementação de sistemas supervisores em empresas com foco na Indústria 4.0, destacaram-se no primeiro grupo de ranqueamento, as barreiras:

- Equipamentos e maquinários obsoletos provocam a elevação dos custos industriais para a implementação do sistema supervisor.
- Falta de infraestrutura para receber as tecnologias da Indústria 4.0 aumenta os custos para implementar o sistema supervisor.

As atribuições mais elevadas à barreira “Equipamentos e maquinários obsoletos provocam a elevação dos custos industriais para a implementação do sistema supervisor” e à barreira “Falta de infraestrutura para receber as tecnologias da Indústria 4.0 aumenta os custos para implementar o sistema supervisor”, referem-se a um dos principais desafios que demanda altos investimentos para as indústrias, quando as mesmas têm em suas plantas fabris, um portfólio de equipamentos e maquinários com tecnologias antigas ou desatualizadas. Convergente a essas barreiras melhores ranqueadas, Mouef *et al.* (2018) ressaltam que a infraestrutura precária e equipamentos obsoletos são fatores relevantes que impactam negativamente na implementação de sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0.

No segundo grupo, e na continuidade das melhores ranqueadas, as barreiras que fazem referência aos “sistemas supervisores demandarem altos custos com investimentos em tecnologias de software e hardwares”, são evidenciadas como fatores relevantes em termos de desafios para a implementação dos sistemas embasados nas tecnologias da Indústria 4.0, visto que, são dependentes de aplicações tecnológicas de softwares e hardwares mais avançadas. Esse resultado bem ranqueado corrobora com Fernández *et al.* (2021), os quais evidenciam como principais barreiras, a necessidade de altos investimentos para a implementação dos sistemas supervisores que envolvem a utilização de tecnologias de softwares e hardwares baseadas na Indústria 4.0.

No terceiro grupo, em relação à barreira “a integração das tecnologias da indústria 4.0, sem a cibersegurança, potencializa riscos de ataques cibernéticos e roubo de dados”, há de se destacar as tecnologias habilitadoras integradas ao sistema supervisor, as quais aumentam o grau de complexidade em termos de vulnerabilidades, capazes fornecer potenciais ameaças de ataques virtuais cibernéticos. Considerando os aspectos mencionados, a cibersegurança industrial para a proteção de dados, se torna um fator de extrema importância para a interoperabilidade com o sistema de supervisão direcionado à Indústria 4.0. Na literatura

científica, Rane e Narvel (2019) destacam que a implementação dos sistemas supervisores direcionados à quarta revolução industrial oferece risco de ataques cibernéticos e roubo de dados, caso as tecnologias disruptivas não sejam integradas a um sistema de cibersegurança para a proteção da planta fabril.

Classificada no quarto grupo, a barreira “Sistemas supervisores não estão preparados para analisar a ecoeficiência, a fim de reduzir o consumo de energia, água e matéria-prima”, remete ao fato dos sistemas supervisores para a Indústria 4.0, serem escassos quando a tratativa se refere ao chão-de-fábrica para questões de economias com a eficiência energética, o reaproveitamento da matéria-prima, consumo e/ou reaproveitamento da água nas atividades fabris e a mitigação de poluentes. Nesse contexto, o resultado do presente estudo corrobora com Alarcón *et al.* (2021), os quais relatam que os sistemas supervisores para a Indústria 4.0, não são disponibilizados ao chão-de-fábrica para implementações relacionadas à ecoeficiência, em termos de aplicações para reduzir o uso de energia, água e matéria-prima na planta fabril.

Para o quinto e último grupo, a barreira “Melhorias de ganhos econômicos e produtividade são dependentes de adaptações à modularidade e customização dos processos fabris”, refere-se à necessidade de adequações ao chão-de-fábrica para que os processos de produção funcionem tanto de forma independente, quanto em conjunto. Essa customização modular e facilitada pela implementação do sistema supervisor direcionado à Indústria 4.0, permite a flexibilização dos processos modulares de forma a minimizar interações e/ou modificar rapidamente as interfaces padrões. Na literatura científica, El Zant *et al.* (2021) salienta que a empresa ao implementar o sistema de supervisão para a Indústria 4.0 (com o objetivo estratégico de melhorias de ganhos econômicos e o aumento de produtividade), necessita de adaptações à modularidade e customizações personalizadas para que a otimização da automação industrial seja mais eficaz.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se com os resultados do presente estudo científico, que as representações em termos do grau de importância das oportunidades para a implementação dos sistemas supervisores em empresas com foco na Indústria 4.0, nos seus níveis mais elevados “grupo (a)”, foram favoráveis às oportunidades “Melhorias com o aumento de ganhos econômicos, reduções de custos e o aumento da produtividade industrial”, “Melhorias por meio do acesso remoto em tempo real aos processos produtivos da planta fabril”, “Melhoria da Eficácia Global do Equipamento – OEE”.

Para o “grupo (b)”, destacaram-se as oportunidades “Melhorias em termos de responsividade tecnológica, a qual reflete positivamente na qualidade dos serviços e na produtividade fabril”, “Melhorias na confiabilidade da informação e a alta visibilidade para o controle dos processos fabris”, “Integração de tecnologias da Indústria 4.0, a qual gera alta flexibilidade nos processos fabris”.

Para o “grupo (c)”, destacou-se a oportunidade “Melhorias de competitividade devido ao uso das tecnologias, *Big Data*, Sistema Ciber Físico e *IoT* para as tomadas de decisões”.

No “grupo (d)”, destacaram-se as oportunidades “Melhorias em termos de escalabilidade para o atendimento de demandas e produtividade” e a “Melhorias na qualidade final do produto”. Por final, no “grupo (e)”, a oportunidade “Melhorias com a otimização no desempenho das atividades industriais para a rápida capacidade de modularidade dos processos fabris”.

Em relação aos resultados, que fizeram referência às representações do grau de importância das barreiras para implementação dos sistemas supervisores em empresas com foco na Indústria 4.0, no “grupo (a)”, destacaram-se as barreiras "Equipamentos e maquinários obsoletos provocam a elevação dos custos industriais para a implementação do sistema supervisor" e "Falta de infraestrutura para receber as tecnologias da Indústria 4.0 aumenta os custos para implementar o sistema supervisor".

Para o “grupo (b)”, evidenciou-se a barreira "Sistemas supervisores demandarem altos custos com investimentos em tecnologias de software", além da barreira "Sistemas supervisores demandarem altos custos com investimentos em tecnologias de hardwares".

Referente às demais classificações, no “grupo (c)”, destacou-se a barreira “a integração das tecnologias da indústria 4.0, sem a cibersegurança, potencializa riscos de ataques cibernéticos e roubo de dados”. No “grupo (d)”, a barreira "Sistemas supervisores não estão preparados para analisar a ecoeficiência, a fim de reduzir o consumo de energia, água e matéria-prima”. Por final, no “grupo (e)”, a barreira “Melhorias de ganhos econômicos e produtividade são dependentes de adaptações à modularidade e customização dos processos fabris”.

Diante dos resultados apresentados, este trabalho contribui com a literatura científica, visto que, não foram encontrados estudos que tenham avaliado e classificado o grau de importância das oportunidades e barreiras para a implementação de sistemas supervisores com foco na Indústria 4.0. Ademais, a relevância desse trabalho científico, também comprova empiricamente, as várias proposições de pesquisas acadêmicas, as quais não foram a campo para avaliar o grau de importância dessas oportunidades e barreiras para a implementação dos sistemas supervisores direcionados à quarta revolução industrial.

O estudo científico também contribui com a prática organizacional, indicando ao segmento corporativo industrial, quais são as oportunidades e barreiras necessárias a serem priorizadas para que seja possível a obtenção de uma maior assertividade na implementação do sistema supervisor com foco na Indústria 4.0.

Para pesquisas futuras, sugere-se estudos que possam quantificar os ganhos econômicos, as reduções de custos, as melhorias de produtividade, além dos investimentos necessários, quando relacionados aos apontamentos das oportunidades e barreiras que foram apresentadas e ranqueadas no presente trabalho científico.

REFERÊNCIAS

ACCORSI, R.; BORTOLINI, M.; GALIZIA, F. G.; GUALANO, F.; OLIANI, M. Scalability analysis in industry 4.0 manufacturing. **Smart Innovation, Systems and Technologies**, v.200, n.2, 161-171, 2020.

ACTION, Portal, 2021. **Action Stat**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/sobre-o-action>>. Acesso em: 20 jun 2022.

ALARCÓN, M.; GARCÍA, F. M. M.; HIJES, F. C. G. L. Energy and maintenance management systems in the context of industry 4.0. Implementation in a real case. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 142, 110841, 2021.

ARAMJA, A.; KAMACH, O.; ELMEZIANE, R. Companies' perception toward manufacturing execution systems. **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, 4, 3347-3355, 2021.

BARDIN, L. **El análisis de contenido**. Madrid: Ediciones Akal, 1986.

BEREGI, R.; PEDONE, G.; HÁY, B.; VÁNCZA, J. Manufacturing Execution System Integration through the Standardization of a Common Service Model for Cyber-Physical Production Systems. **Applied Sciences Switzerland**, 11, 5581, 2021.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989.

BURNS, T.; COSGROVE, J.; DOYLE, F. A Review of Interoperability Standards for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v.38, 646-653, 2019.

CAMPBELL, G.; SKILLINGS, J. H. Nonparametric stepwise multiple comparison procedures. **Journal of the American Statistical Association**, v.80, n.392, 998-1003, 1985.

CHEN, Toly; WANG, Yu-Cheng. Hybrid big data analytics and Industry 4.0 approach to projecting cycle time ranges. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 120, n. 1, p. 279-295, 2022.

CHENG, G. J.; LIU, L.; QIANG, Z. Industry 4.0: development and application of intelligent manufacturing. **Information System and Artificial Intelligent**, v.7, n.4, 407-410, 2016.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. Ed.2. New York: Psychology Press, 1988.

DEMSAR, J. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. **Journal of Machine Learning Research, JMLR.org**, v.7, p-1-30, 2006.

EL ZANT, C.; BENFRIHA, K.; LOUBERE, S.; AOUSSAT, A. A design methodology for modular processes orchestration. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, 35, 106-117, 2021.

FERNÁNDEZ, P. A.; FERNÁNDEZ, M. A. F.; CANDÁS, J. L. C.; ARBOLEYA, P. A. An IoT open source platform for photovoltaic plants supervision. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v.125, 106540, 2021.

FORZA, C. Survey research in operation management: a process-based perspective. **International Journal of Operation & Production Management**, 22, 152-194, 2002.

FORUM ECONÔMICO MUNDIAL. “**The Future of the Last-Mile Ecosystem do Fórum Econômico Mundial**”, 2020. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_the_last_mile_ecosystem.pdf - Acesso em 20/07/2022.

GARCÍA, M. V.; IRISARRI, E.; PÉREZ, F.; ESTÉVEZ, E.; MARCOS, M. An Open CPPS Automation Architecture based on IEC-61499 over OPC-UA for flexible manufacturing in Oil&Gas Industry. **IFAC-Papers OnLine**, v.50, n.1, 1231-1238, 2017.

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

GONZALEZ, A. G. C.; ALVES, M. V. S.; VIANA, G. S.; CARVALHO, L. K.; BASILIO, J. C. Supervisory Control-Based Navigation Architecture: A New Framework for Autonomous

Robots in Industry 4.0 Environments. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.14, n.4, 1732-1743, 2018.

GUPTA, P. Modularity enablers: a tool for Industry 4.0. **Life Cycle Reliability and Safety Engineering**, v.8, 157–163, 2019.

HENDRICKX, F. Protection of workers' personal data: General principles. **Protection of workers' personal data: General principles**, 62, p. 01-55, 2022.

JASKÓ, S.; SKROP, A.; HOLCZINGER, T.; CHOVÁN, T.; ABONYI, J. Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard-and ontology-based methodologies and tools. **Computers in industry**, v. 123, p. 103300, 2020.

LANDHERR, M.; SCHNEIDER, U.; BAUERNHANSL, T. The Application Center Industrie 4.0 - Industry-driven Manufacturing, Research and Development. **Procedia CIRP**, v.57, 26-31, 2016.

LUGLI, A.B., ALMEIDA, L.S.O., PINTO, M.G. ICIC Express Letters, Part B. **Applications**, v.12, n.9, p. 797-805, 2021.

KAM B.; RIMMER, P. **Industrialization: genesis**. Configured by Consumption - Ed: Edward Elgar Publishing, 2022.

KUMAR, R.; RANI, S.; AWADH, M. A. Exploring the Application Sphere of the Internet of Things in Industry 4.0: A Review, Bibliometric and Content Analysis. **Sensors**, v. 22, n. 11, p. 4276, 2022.

LASI, H.; FETTKE, P.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, 239–242, 2014.

LEVIN, R.; RUBIN, D. S. **Estadística para administración y economía**. Pearson Educación, 2004.

LOBO, F. A. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v.3, n.4, 16-21, 2016.

MAJEED, A. A.; RUPASINGHE, D. Internet of things (IoT) embedded future supply chains for industry 4.0: An assessment from an ERP-based fashion apparel and footwear industry. **International Journal of Supply Chain Management**, v. 6, n.1, 25-40, 2017.

MANTRAVADI, S.; MOLLER, C. An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0? **Procedia Manufacturing**, v.30, 588-595, 2019.

MANTRAVADI, S.; MOLLER, C.; CHEN, L. I.; Schnyder, R Design choices for next-generation IIoT-connected MES/MOM: An empirical study on smart factories. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 73, 102225, 2022.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA Statement. **Annals of Internal Medicine**, 151(4), 264-269, 2009.

MORAES, C.; CASTRUCCI, P. B. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2. ed. São Paulo: LTC, 2017.

MORGAN, J.; HALTON, M.; QIAO, Y.; & BRESLIN, J. G. Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines. **Journal of Manufacturing Systems**, 59, 481-506, 2021.

MOUEF, A.; PELLERIN, R.; LAMOURI, S.; TAMAYOU-GIRALDO, S.; BARBARAV, R. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v.53, n.3, 1118-1136, 2018.

NASCIMENTO, J. R. **Aplicações dos Conceitos e Tecnologias da Indústria 4.0 no Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2022.

PINSONNEAULT, Alain; KRAEMER, Kenneth. Survey research methodology in management information systems: an assessment. **Journal of Management Information Systems**, v. 10, n. 2, p. 75-105, 1993.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª ed. Novo Hamburgo: Freevale, 2013.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics? **Journal of Documentation, USA**, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

RANE, S. B.; NARVEL, Y. A. M. Re-designing the business organization using disruptive innovations based on blockchain-IoT integrated architecture for improving agility in future Industry 4.0. **Benchmarking**, v.3, n.1, 33-45, 2019.

SANTOS, C. F.; NETTO, R. J. K.; LOURES, E. F. R.; SANTOS, E. A. P. **Advances in Transdisciplinary Engineering**, v. 7, p. 633-642, 2018.

SCHNIEDERJANS, D. G.; CURADO, C.; KHALAJHEDAYATI, M. Supply chain digitisation trends: An integration of knowledge management. **International Journal of Production Economics**, v. 220, 107439, 2020.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. 1. ed. São Paulo: Edipro, 2016.

SILVA, J. M.; DEL, F. P. M. G.; Olivera, A. Z.; Silva, J. R. Revisiting requirement engineering for intelligent manufacturing. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1-14, 2022.

SILVEIRA, C. B.; LOPES, G. G. **O que é a Indústria 4.0 e Como Ela Vai Impactar o Mundo**. Citisystems, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4.0>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

TSUCHIYA, A.; FRAILE, F.; KOSHIJIMA, I.; ÓRTIZ, A.; POLER, R. Software defined networking firewall for industry 4.0 manufacturing systems. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v.11, n.2, 318-333, 2018.

VERMA, R. Smart city healthcare cyber physical system: characteristics, technologies and challenges. **Wireless personal communications**, v. 122, n.2, p.1413-1433, 2022.

WANG, S.; WAN, J.; ZHANG, D.; LI, D.; ZHANG, C. Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data-based feedback and coordination. **Computer Networks**, v.101, 158-168, 2016.

YAZDI, P. G.; AZIZI, A.; HASHEMIPOUR, M. An Empirical Investigation of the Relationship between Overall Equipment Efficiency (OEE) and Manufacturing Sustainability in Industry 4.0 with Time Study Approach. **Sustainability**, v.10, n.8, 3031, 2018.

ZHONG, R. Y.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. T. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v.3, n.5, 616-630, 2017.

16 – Os sistemas supervisores para a Indústria 4.0 não estão preparados para analisar a ecoeficiência, a fim de reduzir o consumo de energia, água e matéria-prima.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

(- *Grau de Importância* +)

17 – Vinculadas aos sistemas supervisores, as melhorias de ganhos econômicos e produtividade são dependentes de adaptações à modularidade e customização dos processos fabris.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

(- *Grau de Importância* +)
