

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Blumenau
Departamento de Engenharia de
Controle e Automação e Computação



Francine de Oliveira Costa

Barreiras para a Implementação da Indústria 4.0: uma Revisão
Bibliométrica e Sistêmica

Blumenau
2020

Francine de Oliveira Costa

**Barreiras para a Implementação da Indústria 4.0:
uma Revisão Bibliométrica e Sistêmica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Engenheira de Controle e Automação.
Orientador: Prof.^a Dra. Caroline Rodrigues Vaz

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Blumenau
Departamento de Engenharia de
Controle e Automação e Computação

Blumenau
2020

Francine de Oliveira Costa

Barreiras para a Implementação da Indústria 4.0: uma Revisão Bibliométrica e Sistêmica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Controle e Automação.

Comissão Examinadora



Documento assinado digitalmente
Caroline Rodrigues Vaz
Data: 14/08/2020 09:06:27-0300
CPF: 055.381.109-66

Prof.^a Dra. Caroline Rodrigues Vaz
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador



Documento assinado digitalmente
Adão Boava
Data: 14/08/2020 09:17:37-0300
CPF: 645.640.969-15

Prof. Dr. Adão Boava
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Marilise Luiza Martins dos Reis
Data: 14/08/2020 10:49:40-0300
CPF: 018.330.339-30

Prof.^a Dra. Marilise Luiza Martins dos Reis
Sayão
Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 20 de julho de 2020

Dedico este trabalho, especialmente, à minha família,
e a todos aqueles que, de alguma forma,
auxiliaram para a concretização desta etapa.

Agradecimentos

Agradeço à Deus, por ter me guiado até aqui, e por ter me dado a oportunidade de fazer parte de uma família maravilhosa. Agradeço aos meus pais, Wallace e Eliete, por não medirem esforços para dar aos seus filhos uma educação de qualidade, tanto em casa, quanto em relação ao colégio e universidade. Ao meu irmão Felipe, por sua amizade e apoio ao longo de minha vida. Em especial, à minha irmã gêmea Franciele, por estar ao meu lado em todos os momentos de minha vida, tanto pessoal quanto acadêmica, e me apoiar por toda essa jornada.

Agradeço à minha orientadora, Caroline Rodrigues Vaz, por todo o apoio e incentivo que me foi dado durante a realização deste trabalho, desenvolvido durante um momento difícil para o mundo inteiro, causado por uma pandemia. Mesmo à distância, a professora esteve sempre presente e disposta a me ajudar. O seu apoio foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho. Agradeço também ao professor Maurício Uriona Maldonado pela ajuda e contribuições dadas para o desenvolvimento do mesmo.

Aos colegas da primeira turma de Engenharia de Controle e Automação da UFSC campus Blumenau, que assim como eu, tiveram a coragem de enfrentar uma jornada cheia de desafios em um campus da UFSC completamente novo. Em geral, agradeço aos professores do curso, pelos conhecimentos repassados ao longo desses anos. Em especial, quero agradecer a todas as colegas que estiveram ao meu lado durante a minha formação, vocês tornaram a minha vida acadêmica mais leve e agradável. Também agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a minha formação.

Agradeço aos professores da Banca Examinadora pelo tempo e atenção que dedicaram a esse trabalho, e também, por suas sugestões de melhorias.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, especialmente ao campus Blumenau, por proporcionar uma formação de qualidade para tantas pessoas.

"A primeira regra de qualquer tecnologia utilizada nos negócios é que a automação aplicada a uma operação eficiente aumentará a eficiência. A segunda é que a automação aplicada a uma operação ineficiente aumentará a ineficiência."

(Bill Gates)

Resumo

A humanidade sempre buscou desenvolver novas tecnologias e maneiras de otimizar a execução de tarefas cotidianas. Essa busca foi refletida também na forma como as fábricas realizam suas produções, e no modo de trabalho de seus funcionários. O surgimento da máquina a vapor possibilitou que trabalhos feitos manualmente fossem realizados com o auxílio de máquinas, o que resultou na Primeira Revolução Industrial. A Segunda Revolução Industrial aconteceu com a utilização da energia elétrica nas indústrias, das linhas de montagem e produção em massa. A Terceira Revolução aconteceu com o desenvolvimento da eletrônica e também das Tecnologias da Informação e Comunicação, possibilitando automatizar e otimizar os processos fabris. A evolução dessas tecnologias, e também a criação de novas, resultou na Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, que é caracterizada pela criação de fábricas inteligentes, sistemas cyber-físicos, Internet das Coisas, *Big Data*, robôs autônomos, computação em nuvem, entre outras tecnologias, que são capazes de trazer muitos benefícios para as indústrias. Entretanto, a adoção dessas novas tecnologias é considerada um desafio. Por isso, o objetivo deste trabalho foi identificar quais são as barreiras que impedem a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 nas empresas. Para isso, foi utilizado o método SYSMAP, para realizar uma análise bibliométrica e sistêmica, que possibilitou a identificação e categorização das barreiras para adoção da Indústria 4.0, e também, oportunidades e lacunas de pesquisas. As análises foram realizadas com base em buscas em duas bases de dados: *Web of Science* e *Scopus*, em março de 2020. Alguns resultados encontrados com a análise bibliométrica foram: que Y. Zhang é o autor mais produtivo, assim como as instituições *Northeastern University* e *University of Texas at Dallas*. Em questão de países, destacaram-se a Alemanha (em pesquisas individuais) e Estados Unidos (em pesquisas colaborativas). A análise sistêmica possibilitou a identificação de seis grandes grupos de barreiras: tecnológicas, gerenciais, impostas pelos trabalhadores, financeiras, barreiras legais e políticas e outras barreiras. Entre as oportunidades e lacunas de pesquisas encontradas estavam: a realização de pesquisas em mais países (tanto em países desenvolvidos, quanto em desenvolvimento), a busca por padronização das tecnologias desenvolvidas, assim como a garantia da segurança cibernética e o desenvolvimento de tecnologias em conjunto com os usuários das mesmas.

Palavras-Chave: 1. Indústria 4.0. 2. Quarta Revolução Industrial 3. Fábricas Inteligentes. 4. Sistemas Cyber-Físicos. 5. Barreiras.

Abstract

Humanity has always sought to develop new technologies and ways to optimize the execution of everyday tasks. This search has also been reflected in the way factories carry out their productions, and in the way their employees work. The emergence of the steam machine made it possible for work to be done manually with the help of machines, which resulted in the First Industrial Revolution. The Second Industrial Revolution happened with the use of electric energy in industries, assembly lines and mass production. The Third Revolution happened with the development of electronics and also Information and Communication Technologies, making it possible to automate and optimize manufacturing processes. The evolution of these technologies, and also the creation of new ones, resulted in the Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0, which is characterized by the creation of intelligent factories, cyber-physical systems, Internet of Things, Big Data, autonomous robots, cloud computing, among other technologies, which are capable of bringing many benefits to industries. However, the adoption of these new technologies is considered a challenge. Therefore, the objective of this work was to identify which are the barriers that prevent the implementation of the technologies of Industry 4.0 in companies. For this, the SYSMAP method was used to perform a bibliometric and systemic analysis, which enabled the identification and categorization of the barriers to Industry 4.0 adoption, as well as research opportunities and gaps. The analyses were performed based on searches in two databases: Web of Science and Scopus, in March 2020. Some results found with the bibliometric analysis were: that Y. Zhang is the most productive author, as are the Northeastern University and University of Texas at Dallas institutions. In terms of countries, Germany (in individual research) and the United States (in collaborative research) stood out. The systemic analysis made it possible to identify six major groups of barriers: technological, managerial, worker-imposed, financial, legal and political and other barriers. Among the research opportunities and gaps found were: conducting research in more countries (both developed and developing countries), seeking to standardize the technologies developed, as well as ensuring cyber security and developing technologies together with their users.

Keywords: 1. Industry 4.0. 2. Fourth Industrial Revolution. 3. Smart Factories. 4. Cyber-Physical Systems. 5. Barriers

Lista de figuras

Figura 1 – Máquina a vapor criada por Watt[1].	19
Figura 2 – Máquina a vapor portátil inventada por Watt[2].	19
Figura 3 – Linha de montagem de Henry Ford, 1913[3].	20
Figura 4 – Robôs inseridos nas linhas de produção automotiva[4].	21
Figura 5 – Pilares da Indústria 4.0[5].	23
Figura 6 – Exemplo de utilização de robôs autônomos na empresa <i>Amazon</i> [6].	25
Figura 7 – Exemplo de manufatura aditiva[7].	26
Figura 8 – Exemplo de simulação utilizada em uma empresa[8].	26
Figura 9 – Exemplo de Realidade Aumentada[8].	27
Figura 10 – Camadas do modelo RAMI 4.0[9].	28
Figura 11 – Etapas SYSMAP[10].	32
Figura 12 – Busca realizada na base de dados <i>Web of Science</i>	33
Figura 13 – Resultados encontrados na base de dados <i>Web of Science</i>	34
Figura 14 – Busca realizada na base de dados <i>Scopus</i>	34
Figura 15 – Resultados encontrados na base de dados <i>Scopus</i>	35
Figura 16 – Fases do método SYSMAP conforme essa pesquisa.	37
Figura 17 – <i>Software EndNote</i>	38
Figura 18 – <i>Software VOSviewer</i>	39
Figura 19 – <i>Software CitNetExplorer</i>	40
Figura 20 – <i>Software RStudio</i>	41
Figura 21 – Produção científica anual.	44
Figura 22 – Gráfico dos <i>journals</i> mais frequentes.	45
Figura 23 – Rede de cocitação entre <i>journals</i>	46
Figura 24 – Gráfico das instituições mais frequentes.	47
Figura 25 – Colaboração entre instituições.	49
Figura 26 – Gráfico dos autores mais produtivos.	50
Figura 27 – Colaboração entre autores.	51
Figura 28 – Rede de cocitação entre autores.	52
Figura 29 – Gráfico de produtividade de documentos por país.	53
Figura 30 – Colaboração entre países.	54
Figura 31 – Mapa de colaboração entre países.	55
Figura 32 – Rede de cocitação de referências.	57
Figura 33 – <i>TreeMap</i> das palavras-chave mais frequentes.	59
Figura 34 – Nuvem de palavras.	59
Figura 35 – Co-ocorrência de palavras-chave.	60

Figura 36 – Temas de tendência com o passar dos anos.	61
Figura 37 – Historiograma.	62
Figura 38 – Mapa temático.	67
Figura 39 – Mapa conceitual da estrutura do campo.	69
Figura 40 – Dendrograma.	70

Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais dados encontrados na pesquisa.	42
Tabela 2 – Tipo de documento e frequência.	43
Tabela 3 – Referências mais citadas.	56
Tabela 4 – Palavras-chave mais frequentes.	58
Tabela 5 – Temas de tendência.	61

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABDI	<i>Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial</i>
AGV	<i>Automatic Guided Vehicle</i>
AICT	<i>Advances in Information and Communication Technology</i>
CLP	<i>Controladores Lógicos Programáveis</i>
CNI	<i>Confederação Nacional da Indústria</i>
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
DEMATEL	<i>Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
IA	<i>Inteligência Artificial</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IFAC	<i>International Federation of Automatic Control</i>
IFIP	<i>International Federation for Information Processing</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISM	<i>Interpretive Structural Modeling</i>
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
LNAI	<i>Lecture Notes in Artificial Intelligence</i>
LNBI	<i>Lecture Notes in Bioinformatics</i>
LNCS	<i>Lecture Notes in Computer Science</i>
MCA	<i>Multiple Correspondence Analysis</i>
MCDM	<i>Multi-Criteria Decision Making</i>
MEV	<i>Multivariate Extreme Value</i>
MICMAC	<i>Matriced' Impacts Croise's Multiplication Appliquée à un Classement</i>
QR	<i>Quick Response</i>
RAMI	<i>Reference Architectural Model Industrie</i>
RWTH	<i>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule</i>
SCF	<i>Sistema Cyber-Físico</i>
SEM	<i>Structural Equation Modeling</i>
SOA	<i>Service-Oriented Architecture</i>
SYSMAP	<i>Scientometric and sYStematic yielding MApping Process</i>
TI	<i>Tecnologia da Informação</i>
TICS	<i>Tecnologias da Informação e Comunicação</i>
TISM	<i>Total Interpretive Structural Modelling</i>
UFSC	<i>Universidade Federal de Santa Catarina</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização e Problemática da Pesquisa	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	Justificativa	15
1.4	Estrutura da Pesquisa	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Revoluções Industriais, Controle e Automação	18
2.1.1	Primeira Revolução Industrial	18
2.1.2	Segunda Revolução Industrial	20
2.1.3	Terceira Revolução Industrial	21
2.1.4	Quarta Revolução Industrial	22
2.1.4.1	Modelo de Arquitetura de Referência para Indústria 4.0	27
2.1.5	Controle e Automação	28
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	31
3.1	Classificação da Pesquisa	31
3.2	Revisão de Literatura Estruturada – SYSMAP	32
3.3	Análise e Tabulação dos Dados	38
3.3.1	<i>EndNote</i>	38
3.3.2	<i>VOSviewer</i>	38
3.3.3	<i>CitNetExplorer</i>	39
3.3.4	<i>RStudio</i>	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Dados Iniciais da Pesquisa	42
4.2	Análise Bibliométrica	44
4.3	Análise Sistêmica	70
4.3.1	Barreiras para Implementação da Indústria 4.0 nas Empresas	71
4.3.1.1	Barreiras Tecnológicas	72
4.3.1.2	Barreiras Gerenciais	75
4.3.1.3	Barreiras Impostas pelos Trabalhadores	76
4.3.1.4	Barreiras Financeiras	77
4.3.1.5	Barreiras Legais e Políticas	78

4.3.1.6	Outras Barreiras	79
4.4	Oportunidades e Lacunas de Pesquisas	80
5	CONCLUSÕES	82
5.1	Considerações Finais	82
5.2	Recomendações Futuras	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
A	ANEXO A - ARTIGOS DA ANÁLISE SISTÊMICA	91

1 Introdução

Este capítulo apresenta a Contextualização e Problemática da Pesquisa, o Objetivo Geral e os Objetivos Específicos, a Justificativa e a Estrutura da Pesquisa.

1.1 Contextualização e Problemática da Pesquisa

A humanidade sempre buscou por novas tecnologias para aprimorar as atividades cotidianas, em busca de melhores resultados. A criação de lanças na pré-história, a criação da roda, o desenvolvimento de técnicas para caçar, pescar e cultivar plantas, entre outros, mostra que a busca de novas tecnologias é uma característica que acompanha a sociedade há muito tempo. Cada nova descoberta tecnológica é um novo passo para o progresso, e novas possibilidades são abertas, trazendo mais conforto para as pessoas, facilidade, rapidez, entre outros. As inovações e novas tecnologias acabam gerando mudanças nas maneiras de pensar, viver e produzir.

Assim, essa busca por novas tecnologias também resultou em mudanças nas indústrias. Os setores industriais e os processos de produção passaram por grandes mudanças no decorrer da história. Conforme Schwab (2019)[11], quando mudanças muito significativas e radicais acontecem na sociedade, estas são chamadas de “revolução”. Dentro do contexto das indústrias, a primeira grande mudança, ou seja, a Primeira Revolução Industrial, aconteceu aproximadamente entre 1760 e 1840. Este período marcou a substituição da produção manual pelas máquinas, ou seja, a força humana passou a ser substituída pela força mecânica vinda das máquinas a vapor. Já a Segunda Revolução Industrial ocorreu entre os séculos XIX e XX. Essa revolução foi marcada pelo surgimento da eletricidade e também pelas linhas de montagem, o que resultou na produção em massa de diversos produtos (SCHWAB, 2019)[11]. Segundo Lu (2017)[12], a partir da década de 1970 é iniciada a Terceira Revolução Industrial. Este período foi marcado pelo surgimento dos computadores, semicondutores, internet, entre outras tecnologias eletrônicas que possibilitaram que muitas produções passassem a ser automatizadas. A utilização de sensores, atuadores, entre outros dispositivos, que possibilitaram a automação dos processos, otimizou muitas linhas de produção, deixando-as mais modernas, rápidas e seguras.

No momento, a indústria está passando pela Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0. Sistemas mais inteligentes e conectados e ainda mais automatizados passaram a fazer parte de muitas empresas. Esses sistemas são considerados mais inteligentes por serem capazes de se comunicarem entre si e também por utilizarem conceitos como Inteligência Artificial (IA). Também fazem parte da Quarta Revolução Industrial os Sistemas Cyber-Físicos (SCF), que são capazes de fazer uma integração do

mundo físico e do virtual, Internet das Coisas, *Big Data*, Realidade Aumentada, simulação, robótica, integração de sistemas, nuvem, entre outros, que são considerados os pilares da Indústria 4.0.

Essas tecnologias são capazes de gerar muito progresso e melhorias na produção, quando bem utilizadas, trazendo mais qualidade para os produtos, redução de custos, redução de estoques, agilidade na produção, entre outros. Entretanto, se a automação e as tecnologias da Indústria 4.0 podem trazer tantos benefícios para as indústrias, por que essas tecnologias não são encontradas com mais facilidade no setor industrial? Existem barreiras que impedem a sua ampla adoção pelas indústrias?

O acima exposto faz com que se torne relevante realizar uma pesquisa para saber como estão os estudos científicos a respeito das barreiras que possam dificultar a difusão das tecnologias da Indústria 4.0 nas empresas. Neste contexto, a pergunta de pesquisa formulada para a realização deste trabalho foi: "*Quais as barreiras ou obstáculos para a implementação da Indústria 4.0 nas empresas?*".

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar as barreiras e/ou obstáculos no processo de implementação da Indústria 4.0 nas empresas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Levantar as bases de dados e palavras-chaves para Indústria 4.0 e suas barreiras;
- b. Realizar o processo de filtragem e enquadramentos dos trabalhos científicos;
- c. Desenvolver a análise cientométrica de citação e cocitação dos trabalhos científicos;
- d. Analisar o conteúdo dos trabalhos científicos;
- e. Construir as oportunidades e lacunas de pesquisas da Indústria 4.0.

1.3 Justificativa

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) (2017)[5], a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 deve ser capaz de gerar uma grande economia para o setor industrial brasileiro. Ao utilizar a Inteligência Artificial, por exemplo, a manutenção e reparos de equipamentos pode ser reduzida, e assim, R\$ 35 bilhões seriam economizados por ano. A Quarta Revolução Industrial também deve ser capaz de aumentar a eficiência produtiva, e com isso, a estimativa é que R\$ 31 bilhões sejam economizados. Outro ponto mencionado pela ABDI é que os gastos com energia também devem ser diminuídos, ge-

rando uma economia de R\$ 7 bilhões. Portanto, se as indústrias brasileiras conseguirem implementar as tecnologias da Indústria 4.0 de forma eficiente, isso possibilitaria uma economia de R\$ 73 bilhões por ano. Além disso, a implementação da Indústria 4.0 também deve ser capaz de diminuir os impactos ambientais gerados pelas indústrias, segundo a ABDI. Isso é possível pois os processos industriais devem ser otimizados, e com isso, uma redução de emissão de CO₂ é possibilitada. Também deve ser possível que os processos produtivos sejam monitorados de forma mais pontual, o que pode levar a uma produção com mais controle, com menos gastos desnecessários, reduzindo também o consumo de recursos naturais, o que a torna a produção mais sustentável.

Entretanto, mesmo com tantos benefícios que podem ser gerados pela Indústria 4.0, a implementação de suas tecnologias ainda está em um estágio inicial no Brasil. Um estudo elaborado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI)[13], realizado em 2017, mostrou que apenas 1,6% das empresas brasileiras possuíam tecnologias integradas para formar uma produção conectada e inteligente, capaz de dar informações para a tomada de decisão por parte dos gestores. Também mostrou que 20,5% das empresas possuíam Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) integradas em todas as áreas e atividades da empresa. A maior parte das empresas (39,1%) possuíam um certo nível de automação e com uso de TICs, entretanto, não faziam a integração ou era uma integração parcial entre as áreas da empresa. Uma grande quantidade de empresas (38,7%) fazia uso pontual das tecnologias, e utilizava automação de forma isolada. O mesmo estudo apontou que em 2027, 21,8% das empresas brasileiras deverão ter uma produção inteligente. Portanto, pode-se notar que a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 não deve ser tão fácil no Brasil, assim como também não é em outros países.

Um estudo a respeito da Indústria 4.0 realizado em mais de 20 países, tanto em desenvolvidos quanto em desenvolvimento, feito por Geissbauer, Vedso e Schrauf (2016)[14], mostrou que no continente americano, 32% das empresas que participaram da pesquisa consideravam ter um nível avançado de digitalização e integração. Já na zona Ásia-Pacífico, esse número foi de 36%. Na Europa, Oriente Médio e África esse número é ainda menor, 30%. A integração de sistemas é uma característica da Quarta Revolução Industrial, entretanto, a digitalização já era uma característica da Terceira Revolução. Portanto, estes dados mostram que pode existir uma certa dificuldade para uma grande quantidade de empresas em conseguir transitar da Terceira para a Quarta Revolução.

Portanto, identificar quais são as barreiras que possivelmente estão dificultando a implementação da Indústria 4.0, através de uma análise de conteúdo de diversos documentos científicos, e também, realizar uma pesquisa bibliométrica para revelar quais são os principais países, instituições, *journals*, autores, entre outros, que abordam este tema, com base na literatura científica, pode contribuir de forma positiva para a busca por soluções e maneiras de facilitar a implementação da Quarta Revolução Industrial. Considerando os potenciais benefícios que as tecnologias da Indústria 4.0 podem trazer para os países

e empresas, tanto em questões econômicas quanto de desenvolvimento sustentável, por exemplo, identificar tais obstáculos torna-se relevante para a sociedade. Além disso, este trabalho também visa identificar lacunas de pesquisas sobre esse tema, ou seja, mostra caminhos que outros pesquisadores poderão seguir para tentar contribuir para a implementação da Quarta Revolução Industrial, buscando facilitar a sua implementação.

1.4 Estrutura da Pesquisa

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, sendo o capítulo 1 dedicado a apresentar as características principais do trabalho, como Contextualização e Problemática da Pesquisa, o Objetivo Geral e também Objetivos Específicos, a Justificativa, e por fim, a Estrutura da Pesquisa.

O capítulo 2 constitui da Revisão de Literatura do tema relativo ao cenário atual da Indústria 4.0, sua origem, quais as características e peculiaridades, e também, área da automação industrial.

O capítulo 3 apresenta a Metodologia da Pesquisa, no qual se caracteriza como a mesma foi realizada, estabelece-se a forma da coleta, tabulação e interpretação dos dados obtidos.

O capítulo 4 mostra os Resultados e Discussão dos Dados Iniciais da Pesquisa, Análise Bibliométrica, Análise de Sistêmica, assim como as Oportunidades e Lacunas de Pesquisas.

O capítulo 5 proporciona as Considerações Finais e Recomendações Futuras para novas pesquisas.

2 Revisão de Literatura

Este capítulo busca apresentar estudos realizados sobre o tema Revoluções Industriais, Indústria 4.0 e a automação. Consiste na revisão de literatura existente, expondo as principais abordagens conceituais sobre o cenário atual da Indústria 4.0, sua origem, quais as características e peculiaridades, e também, área da automação industrial.

2.1 Revoluções Industriais, Controle e Automação

2.1.1 Primeira Revolução Industrial

Antes da Primeira Revolução Industrial, que aconteceu aproximadamente entre os anos de 1760 e 1840, tudo que era produzido era feito manualmente. Portanto, a produção era mais lenta, e a quantidade produzida de cada produto era menor, o que era refletido nos preços dos produtos. As produções até poderiam ter o auxílio de ferramentas, entretanto, o que possibilitava que o processo produtivo ocorresse era principalmente a força humana. Essa realidade só começou a mudar a partir da Primeira Revolução Industrial.

O grande marco deste período foi a gradual substituição da produção manual pelas máquinas a vapor, portanto, a força humana passou a ser substituída pela força mecânica vinda da água e do vapor, que eram capazes de movimentar essas máquinas (HORVÁT; SZABÓ, 2019; SCHWAB, 2019)[15][11].

O responsável por criar a máquina a vapor, em 1769, que foi capaz de revolucionar o mundo foi James Watt. Apesar de algumas outras máquinas a vapor terem sido criadas antes de sua invenção, foi ele quem conseguiu desenvolver máquinas com potências mais elevadas. A partir das criações de Watt, foi possível movimentar máquinas têxteis, de usinagem e até mesmo navios. Para isso, era necessário aquecer água utilizando carvão em brasa, para que fosse produzido muito vapor. Pela expansão e contração desse vapor, que acontecia dentro de cilindros de metal e pistões, era possível movimentar as máquinas, gerando grandes transformações nas indústrias (MORAES; ABREU, 2006)[2]. Na Figura 1 é mostrada a máquina a vapor criada por James Watt.



Figura 1 – Máquina a vapor criada por Watt[1].

James Watt também desenvolveu máquinas a vapor portáteis, como a mostrada na Figura 2. As máquinas de Watt foram a base para o desenvolvimento dos trens. A primeira locomotiva a vapor foi criada por George Stephenson, em 1814. Os trens abriram novas possibilidades para a sociedade e também para o comércio. Também facilitaram que matérias-primas fossem trazidas de regiões mais distantes.

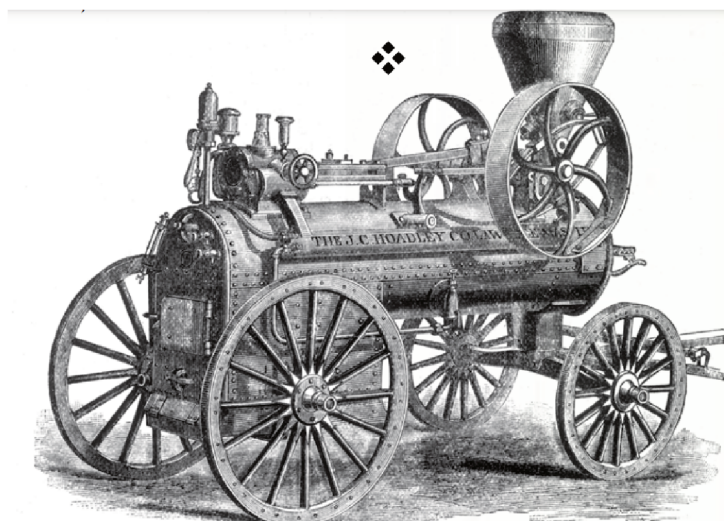


Figura 2 – Máquina a vapor portátil inventada por Watt[2].

Essa revolução não se refletiu apenas nas fábricas, mas também na sociedade, que passou a se concentrar nos centros urbanos ao invés das áreas rurais. Também possibilitou que pessoas se locomovessem de forma mais rápida entre as cidades, dando a sensação de que as distâncias diminuíram.

2.1.2 Segunda Revolução Industrial

A Segunda Revolução Industrial ocorreu entre os séculos XIX e XX. Neste período ocorreu a introdução da eletricidade nas fábricas, o que resultou em significativas melhorias em produtividade (TÜRKEŞ et al., 2019)[16].

A eletricidade também chegou nas residências das pessoas, trazendo muitas mudanças em suas vidas. Graças à energia elétrica, diversas tecnologias surgiram nessa época, entre as quais: rádio, televisão, telefone, eletrodomésticos e iluminação, que foram capazes de mudar completamente o estilo de vida das pessoas (SCHWAB et al., 2019)[17].

Esse período também foi marcado pelo desenvolvimento do motor a combustão interna, que possibilitou o surgimento do automóvel e avião, ou seja, os meios de locomoção mudaram mais uma vez juntamente com uma revolução industrial (SCHWAB et al., 2019)[17].

Neste período surgiram também as linhas de montagem, que foram criadas por Henry Ford para a produção de automóveis, mas que se difundiram entre outros setores industriais. As linhas de montagem possibilitaram o surgimento da chamada produção em massa, aumentando significativamente a produção de diversos produtos (SCHWAB, 2019)[11]. A partir da produção em massa, também surgiu nessa época a divisão do trabalho (HORVÁT; SZABÓ, 2019)[15]. Cada funcionário passou a ser responsável por uma pequena parte da linha de produção, e não tinha mais o conhecimento de todo o processo produtivo. Isso tornou as atividades executadas pelos funcionários altamente repetitivas e monótonas. A Figura 3 mostra a linha de montagem criada por Ford.



Figura 3 – Linha de montagem de Henry Ford, 1913[3].

Também ocorreram avanços tecnológicos na área química, com o desenvolvimento de novos materiais, como plásticos termofixos, que se disseminaram por todo o mundo (SCHWAB et al., 2019)[17].

Assim, mais uma vez, houve mudanças tanto nos setores industriais, que aumentaram sua produtividade, quanto na sociedade, pois as pessoas passaram a exercer suas funções de maneiras diferentes nas fábricas, e também, pelas novas possibilidades trazidas pela energia elétrica e pelo desenvolvimento do transporte.

2.1.3 Terceira Revolução Industrial

A Terceira Revolução Industrial teve início em 1970, e continua presente até os dias atuais em grande parte das indústrias. Essa revolução foi marcada pelo surgimento dos semicondutores, eletrônica, computadores, internet e Tecnologia da Informação (TI) (KARGERMAN et al., 2013; LU, 2017)[18][12].

Entretanto, assim como nas outras revoluções industriais, essa não aconteceu apenas por conta do desenvolvimento das tecnologias em si, mas sim pelas transformações e impactos que tais tecnologias foram capazes de gerar no sistema social e econômico (SCHWAB et al., 2019)[17]. Ainda segundo Schwab et al. (2019)[17], as novas maneiras de processar e transmitir as informações transformaram a vida de bilhões de pessoas, tanto em suas casas, quanto em seus trabalhos.

Nas indústrias, a utilização de sensores, atuadores, entre outros dispositivos, possibilitou a automação e maior controle dos processos, otimizando as linhas de produção e deixando-as mais modernas, rápidas e seguras. Um marco da Terceira Revolução Industrial foi a difusão dos robôs, que são capazes de executar tarefas repetitivas com alta velocidade e precisão. A Figura 4 mostra um exemplo de linha de produção com o uso de robôs.



Figura 4 – Robôs inseridos nas linhas de produção automotiva[4].

Assim, com o relevante desenvolvimento e crescimento do controle dos processos industriais, e também a automação dos mesmos, faz-se necessário incluir a área de controle e automação nesta revisão, após a contextualização das Revoluções Industriais.

2.1.4 Quarta Revolução Industrial

As tecnologias da Terceira Revolução Industrial possibilitaram que as indústrias fossem digitalizadas, automatizadas e também que os processos produtivos fossem controlados, trazendo muitas melhorias para os setores industriais. Com o passar dos anos as tecnologias continuaram sendo desenvolvidas, possibilitando uma ampla utilização da internet, tanto por parte das indústrias quanto pela sociedade. Além disso, sensores cada vez melhores, com menores dimensões e com preços mais baixos foram sendo criados. Também surgiram tecnologias mais avançadas como a Inteligência Artificial (IA) e aprendizado de máquina, que possibilitaram um nível ainda maior de automação. Mesmo que a base fundamental dessas tecnologias (computador, software e redes, entre outros) tenha sido criada na Terceira Revolução Industrial, a evolução dessas tecnologias está tornando-as mais sofisticadas e integradas, gerando transformações profundas tanto na economia global quanto na sociedade. Tais transformações estão levando o mundo para a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (SCHWAB, 2019)[11].

O termo “Indústria 4.0” surgiu em 2011, em uma feira de tecnologias na Alemanha, que aconteceu na cidade de Hannover. Este termo está relacionado a crescente digitalização e integração das fábricas, que deve possibilitar a criação das chamadas “fábricas inteligentes”. Esta revolução deve unir os mundos físicos e virtuais, aumentando o nível de colaboração entre os setores das empresas. Também deve ser capaz de aumentar a personalização de produtos, e possibilitar a criação de novos modelos operacionais (SCHWAB, 2019)[11].

A Quarta Revolução Industrial deve trazer novas possibilidades, como por exemplo, que os gestores tomem decisões em tempo real com base nos dados que são coletados em toda a empresa, que as máquinas trabalhem de forma colaborativa e integrada e trocando informações entre si, e até mesmo identificando problemas e prevendo quando devem ser feitas as manutenções. Várias tecnologias são necessárias para que isso possa acontecer, sendo as principais mostradas na Figura 5 e descritas a seguir.

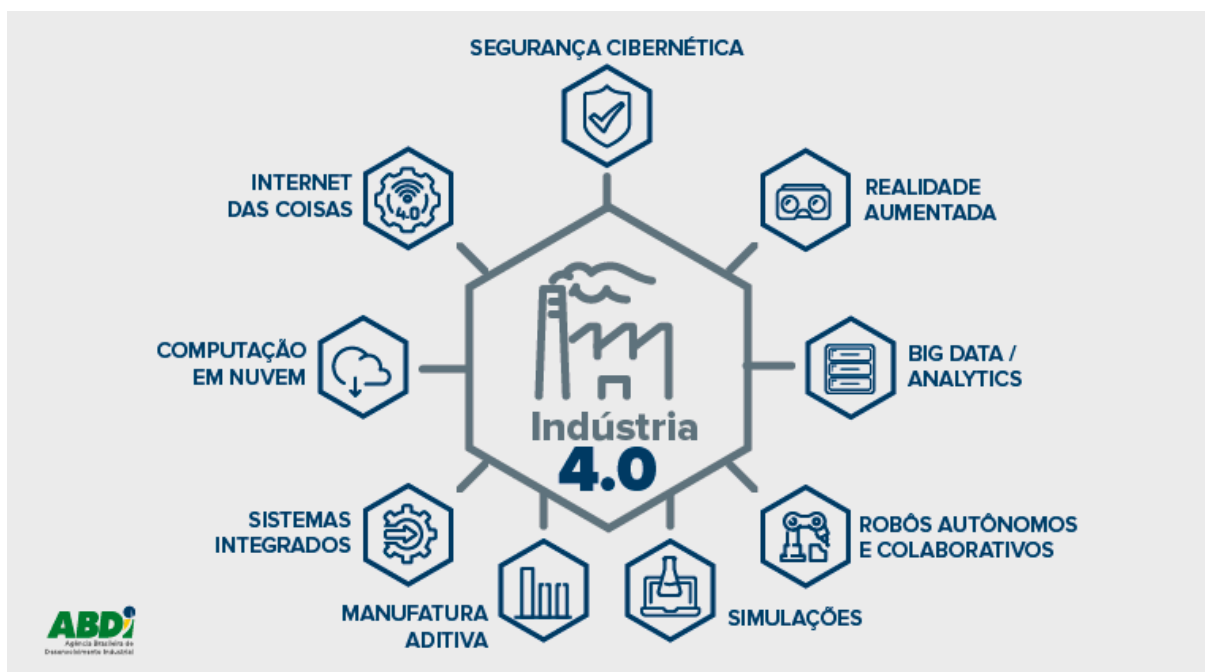


Figura 5 – Pilares da Indústria 4.0[5].

- **Sistemas Cyber-Físicos**

Os *Cyber-Physical Systems* (CPS) ou Sistemas Cyber-Físicos são sistemas capazes de integrar o mundo real e o mundo virtual através da coleta e troca de dados. Tais sistemas são elaborados com diferentes componentes tecnológicos, dentre estes, sistemas embarcados, sensores, *hardware* e *software* (KAMBLE; GUNASEKARAN; SHARMA, 2018)[19]. Segundo Lasi et al. (2014)[20], esses sistemas são capazes de abranger tanto o nível de produção quanto dos produtos, e devem surgir sistemas nos quais não se possa mais diferenciar a parte física da digital. São desenvolvidos com base nas outras tecnologias da Indústria 4.0.

- **Internet das Coisas**

A *Internet of Things* (IoT) ou Internet das Coisas é uma tecnologia capaz de conectar qualquer objeto ou máquina à rede de internet. Essa conexão tem o objetivo de possibilitar a transferência de dados dentro de uma rede sem que precise da interação humana, visando melhorar a produtividade e também a tomada de decisões (AJMERA; JAIN, 2019)[21]. Segundo Lu (2017)[12], a IoT é capaz de integrar o conhecimento entre setores de uma organização e também com organizações externas.

- **Big Data**

Big Data é um termo que descreve o grande volume de dados que podem ser coletados e analisados graças às tecnologias da Quarta Revolução Industrial. Esses dados são

coletados de diversas fontes e servem para otimizar a produção, trazendo mais qualidade aos produtos e reduzindo custos. Essa coleta de dados só é possível com a utilização de sensores e processadores integrados aos sistemas de produção. Os dados podem ser utilizados diretamente pelas máquinas e também pelos gestores, que passaram a ter mais informações para poderem tomar as melhores decisões (AJMERA; JAIN, 2019)[21].

- **Computação em Nuvem**

Cloud Computing ou Computação em Nuvem trata-se de uma maneira de armazenar e acessar dados, sem que os mesmos necessitem ficar armazenados no dispositivo eletrônico que está sendo utilizado. Também inclui o fornecimento de serviços, como servidores, armazenamento, aplicativos, entre outros recursos pela internet. A Computação em Nuvem deve ser capaz de melhorar a funcionalidade das máquinas e também a prestação de serviços, pois deve minimizar os tempos de resposta entre operações (AJMERA; JAIN, 2019)[21].

- **Segurança Cibernética**

A *Cyber Security* ou Segurança Cibernética envolve maneiras de garantir que os dados e informações coletadas pelas tecnologias fiquem protegidos, tanto de falhas durante a transmissão das informações quanto de ataques externos. Para isso, normalmente se utiliza criptografia para codificar arquivos e proteger informações e também protocolos de comunicação.

- **Integração Horizontal e Vertical**

A Quarta Revolução Industrial deve gerar mais integração entre os setores das empresas, desde o chão de fábrica até os gestores, o que é chamado de integração vertical. Já a integração horizontal trata-se da integração entre diferentes empresas, fornecedores e clientes. Essas integrações podem trazer vários benefícios, como melhorar o controle de estoques, os gestores podem obter informações completas sobre o que acontece nos outros setores, entre outros.

- **Robôs Autônomos e Colaborativos**

Os robôs já estão inseridos em várias indústrias, entretanto, devem ficar cada vez mais modernos, tornando-se mais colaborativos e mais autônomos, conforme a aplicação. Também devem ser capazes de lidar com atividades cada vez mais diversificadas e complexas. São máquinas inteligentes capazes de exercer funções em áreas remotas e em ambientes insalubres para humanos, possibilitando que os funcionários trabalhem apenas em ambientes seguros (AJMERA; JAIN, 2019)[21].

Os robôs da Terceira Revolução Industrial eram capazes de executar tarefas repetitivas e pré-programadas. Já os robôs da Quarta Revolução Industrial, tornaram-se mais complexos, podendo aprender a tomar decisões sozinhos, com base em tarefas que realizaram, através de Inteligência Artificial. Assim, são capazes de aprimorar ainda mais as tarefas que executam.

A Figura 6 mostra um exemplo de utilização de robôs autônomos na empresa *Amazon* para carregar mercadorias pela sua sede, sendo capazes de evitar obstáculos e realizar seu trabalho sem a interferência humana.



Figura 6 – Exemplo de utilização de robôs autônomos na empresa *Amazon*[6].

• Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva é um processo de fabricação que vai aplicando camada por camada de material do qual deseja-se fazer o item a ser produzido. Essas camadas vão sendo inseridas até que seja construída a peça ou produto desejado. O exemplo mais popular de manufatura aditiva é a impressão 3D. Antes da fabricação da peça é feito um modelo digital da mesma em *softwares* no computador.

Conforme Ajmera e Jain (2019)[21], a manufatura aditiva traz muitas vantagens para as empresas, como a possibilidade de produzir produtos mais personalizados, e em lotes menores. Além disso, possibilita que os produtos sejam mais leves, o que facilita o transporte. Assim, é capaz de diminuir custos com estoque e transporte. A Figura 7 mostra um exemplo de manufatura aditiva, com uma impressora 3D.

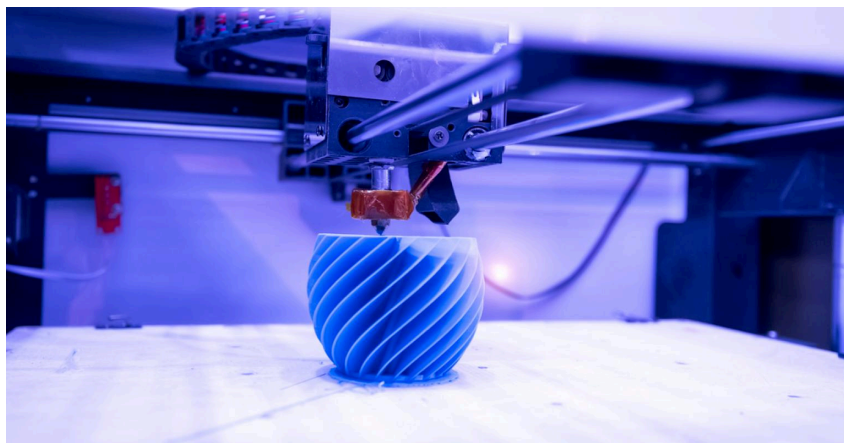


Figura 7 – Exemplo de manufatura aditiva[7].

- **Simulação**

A simulação é uma réplica da realidade encontrada no mundo físico, porém, executada no meio digital. Através de *softwares* é possível analisar o desempenho de um sistema, fazendo uma projeção do que deve acontecer com os mesmos ao serem executados na prática. Assim, a simulação ajuda a projetar produtos, prever problemas e fazer adaptações com o uso do computador ou outro dispositivo eletrônico, minimizando erros e gerando economia para as indústrias (AJMERA; JAIN, 2019)[21]. A Figura 8 mostra um exemplo de utilização de simulação em uma empresa.

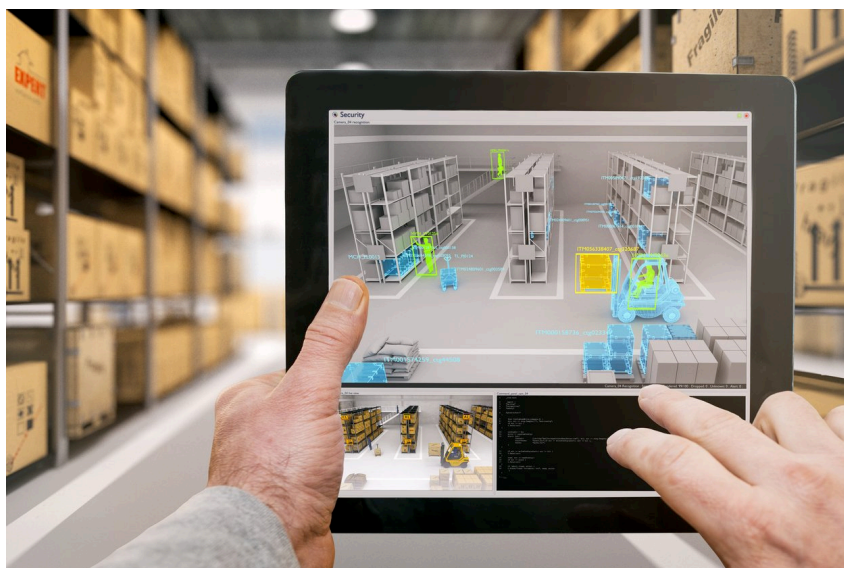


Figura 8 – Exemplo de simulação utilizada em uma empresa[8].

A simulação também possibilitou a criação da Realidade Aumentada, que também é uma das tecnologias da Indústria 4.0. A Realidade Aumentada é capaz de sobrepor imagens virtuais ao ambiente físico, possibilitando que as pessoas tenham mais informações sobre o que estão vendo, e assim, melhorando a tomada de decisões. A Figura 9 mostra um exemplo de utilização de Realidade Aumentada.

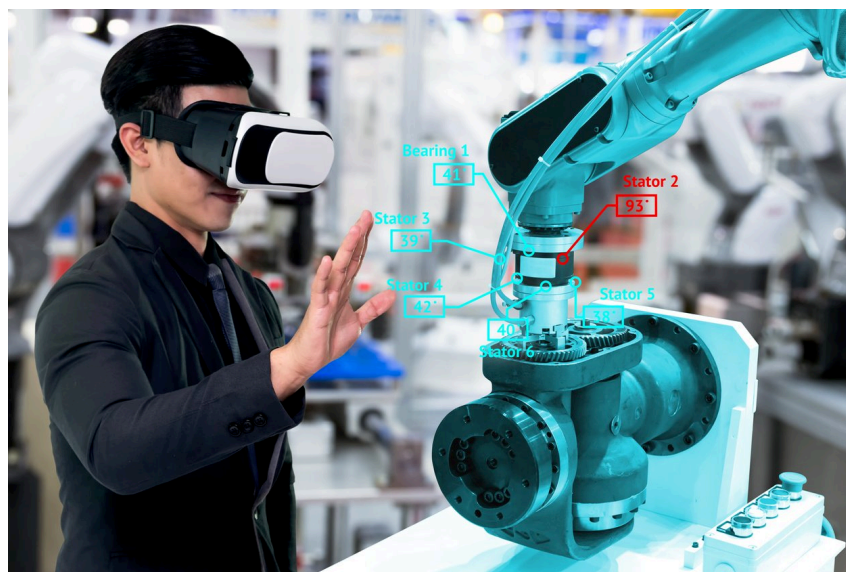


Figura 9 – Exemplo de Realidade Aumentada[8].

2.1.4.1 Modelo de Arquitetura de Referência para Indústria 4.0

Com o surgimento de tantas novas tecnologias, e conseqüentemente, com as mudanças que as mesmas devem trazer para as indústrias, desde a maior integração (tanto vertical quanto horizontal) até a otimização das mesmas, surgem também alguns desafios. Entre estes, estão a integração de tantos dispositivos, a padronização dos mesmos para serem utilizados em conjunto com outros dispositivos, como fazer uma comunicação confiável entre tais equipamentos, e como garantir a segurança das informações, entre outras questões que ainda precisam ser resolvidas. Para isso, foram desenvolvidos alguns modelos de arquitetura, que podem servir como base para o tratamento dessas questões, sendo um dos mais reconhecidos o *Reference Architectural Model Industrie 4.0* (Modelo de Arquitetura de Referência para Indústria 4.0) ou RAMI 4.0.

Segundo Lydon (2019)[22], o modelo RAMI 4.0 foi desenvolvido pela Associação Alemã de Fabricantes de Eletrônicos e Elétricos e tem como objetivo apoiar as iniciativas da Indústria 4.0, fornecendo às empresas uma estrutura para que sejam desenvolvidos futuros produtos e modelos de negócios baseados na Quarta Revolução Industrial. Além disso, também busca garantir que todos os envolvidos nas atividades e discussões da Indústria 4.0 tenham uma base comum para entenderem suas funções.

Ainda conforme Lydon (2019)[22], uma importante característica do RAMI 4.0 é que o mesmo define uma *Service-Oriented Architecture* (SOA) ou arquitetura orientada a serviços, no qual os componentes fornecem serviços uns aos outros através de protocolo de comunicação em rede. O objetivo é dividir processos complexos em partes menores e mais fáceis de entender. Para isso, foi criado um sistema de coordenadas tridimensional, que é mostrado na Figura 10.

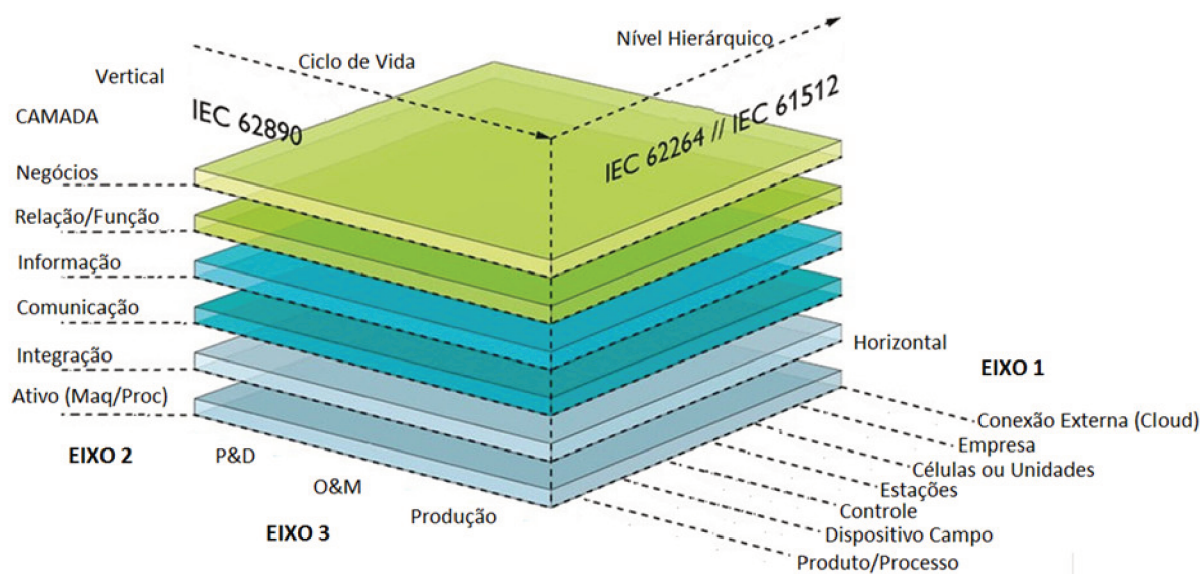


Figura 10 – Camadas do modelo RAMI 4.0[9].

De acordo com Venturelli (2017)[9], o Eixo 1 do modelo RAMI, é chamado de **Hierarquia**. Nesse eixo é definido o modelo de interconexão de todos os elementos ligados à produção, o que abrange desde pessoas, máquinas e informações. O Eixo 2 é chamado de **Camadas**, e define como é a verticalização das informações, interfaces, definições e uso. Por fim, o Eixo 3, que é o de **Ciclo de Vida**, define como é o ciclo de vida do produto, desde a sua pesquisa e desenvolvimento até a assistência técnica e reciclagem.

Além disso, Venturelli (2017)[9] também destaca que o RAMI é baseado em algumas normas, como por exemplo, IEC 63088 (produção inteligente), IEC 62890 (ciclo de vida), IEC 62264 (integração de sistemas de produção da empresa) e IEC 61512 (controle de batelada), o que auxilia a padronização da implementação das tecnologias da Indústria 4.0.

Assim, com um modelo dividido em pequenas camadas e também baseado em normas, o RAMI 4.0 pode ser capaz de auxiliar a implementação da Quarta Revolução Industrial nas empresas.

2.1.5 Controle e Automação

Apesar de parecer algo moderno, ainda no século XVIII, James Watt teria feito o primeiro trabalho significativo de controle automático, que era um regulador centrífugo que controlava a velocidade de uma máquina movida a vapor. Mais tarde, em 1922, Minorsky foi capaz de determinar a estabilidade de embarcações através de equações diferenciais que eram capazes de descrever o sistema, e assim, fez controladores automáticos para pilotar tais embarcações. Com o passar dos anos, foi se elaborando a teoria clássica de controle. Entretanto, essa teoria era insuficiente para lidar com sistemas com várias entradas e saídas. Foi a disponibilidade dos computadores digitais que tornou possível que

sistemas mais complexos fossem analisados no domínio do tempo, utilizando a teoria de controle moderno, com a utilização de variáveis de estado (OGATA, 2010)[23].

Como citado anteriormente, vários dispositivos eletrônicos surgiram durante a Terceira Revolução Industrial, e estes possibilitaram que diversos processos industriais fossem controlados de maneira mais prática. O objetivo desse controle é tornar os sistemas físicos imunes às perturbações, dentro de alguns limites, e que os mesmos obedecem mais aos operadores que trabalham com tais sistemas (MORAES; CASTRUCCI, 2010)[24].

Esse controle pode ser feito em diversas variáveis, como temperatura, pressão, vazão, corrente elétrica, tensão, entre outros, e é amplamente utilizado nas indústrias atualmente. Normalmente o controle é realizado com dispositivos eletrônicos chamados de Controladores Lógicos Programáveis (CLP), que são computadores industriais, programáveis através de linguagens de programação.

O controle de sistemas foi um passo importante para o desenvolvimento da automação. O comportamento das variáveis de um sistema controlado é previsível, pois deve ficar dentro de uma faixa que possibilite o funcionamento correto do sistema. Isso possibilita que os sistemas não precisem necessariamente de uma supervisão e intervenção de um operário para funcionarem corretamente, e conseqüentemente, para que possam ser automatizados.

Segundo Moraes e Castrucci (2010)[24], a automação é definida como um sistema capaz de substituir o trabalho humano, com o objetivo de melhorar a qualidade dos produtos, diminuir o tempo de produção, reduzir os custos, e trazer mais segurança para as pessoas, atendendo os objetivos das indústrias e serviços.

Entretanto, para um sistema ser completamente automatizado, não basta apenas ter um sistema de controle. É preciso que sensores e atuadores trabalhem em conjunto com tal sistema.

Os sensores são dispositivos capazes de responder a estímulos do ambiente. Vários estímulos ambientais podem ser detectados pelos sensores, como por exemplo: temperatura, pressão, corrente elétrica, tensão, entre outros. É a partir destes dispositivos que são coletadas as informações a serem repassadas para os CLPs que deverão controlar o sistema.

Já os atuadores são os dispositivos capazes de transformar a energia hidráulica, elétrica ou pneumática em movimento ou força. Ou seja, são os dispositivos capazes de gerar movimento necessário para mover outros componentes, como por exemplo válvulas, contatores, entre outros que são fundamentais para as indústrias. Esses dispositivos recebem um sinal enviado pelos CLPs, com base no que foi detectado pelos sensores, e determinado pelo sistema de controle, e então atuam no sistema conforme a necessidade.

Esses são os dispositivos essenciais para transformar os processos manuais ou mecanizados de uma indústria em processos automáticos, possibilitando levar para os processos industriais todas as vantagens que a automação possibilita, como redução de custos, maior

qualidade, menor tempo de produção, mais segurança para os trabalhadores, entre outros.

Os conceitos apresentados neste capítulo servem de subsídios para a análise desenvolvida nos próximos capítulos. Antes, porém, são apresentados os procedimentos metodológicos da pesquisa.

3 Metodologia da Pesquisa

Para que uma pesquisa científica seja considerada confiável e atinja os objetivos a que se destina, é necessária a definição da metodologia a ser utilizada, visando esclarecer e orientar os procedimentos de forma coerente e organizada, facilitando o trabalho do pesquisador. Este capítulo trata dos aspectos relativos à delimitação da metodologia científica utilizada, o método adotado, a classificação da pesquisa, os instrumentos para coleta e tabulação dos dados.

3.1 Classificação da Pesquisa

Lakatos e Marconi (2003, p. 83)[25] destacam que o método “é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros - traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista”. Pereira (2016)[26] afirma que “para se chegar a um determinado conhecimento, existe a necessidade de se saber as construções mentais que o possibilitam ser efetivados”.

Segundo Silva e Menezes (2005)[27] a pesquisa pode ser classificada em quatro diferentes formas: 1) Quanto à natureza; 2) Quanto aos objetivos; 3) Quanto à abordagem; 4) Quanto aos procedimentos técnicos.

Na questão de sua natureza, esta pesquisa é classificada como básica, pois trata de um trabalho de revisão de literatura. Analisando os objetivos desta pesquisa, conforme Gil (2002)[28] e também Silva e Menezes (2005)[27], trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva, pois busca tornar explícito algum problema, buscando saber qual é a frequência que o mesmo ocorre e suas relações, através da conexão entre características deste fenômeno e outras variáveis. A abordagem utilizada neste trabalho para entender quais são os desafios e barreiras da Indústria 4.0 nas empresas é qualitativa. Em relação aos procedimentos técnicos, segundo Gil (2002)[28], esta é classificada como um estudo bibliográfico e documental, pois sua realização é feita com base em dados e consultas de trabalhos científicos que já foram feitos sobre o tema.

Além disso, como essa pesquisa faz tanto um estudo quantitativo (pela análise bibliométrica) quanto qualitativo (pela análise de conteúdo), tal pesquisa pode ser considerada mista.

3.2 Revisão de Literatura Estruturada – SYSMAP

Segundo Vaz e Uriona Maldonado (2017)[10], a revisão de literatura é fundamental para compreender o estado da arte de determinado tema a ser estudado. Para este trabalho foi utilizado o SYSMAP (*Scientometric and sYStematic yielding MApping Process*), que é um método que mostra de uma forma estruturada os principais processos para realizar uma revisão de literatura. Para isso, utiliza-se tanto a análise bibliométrica (ou cientométrica) quanto a análise sistêmica (ou de conteúdo). Este método é dividido em quatro etapas, mostradas na Figura 11.



Figura 11 – Etapas SYSMAP[10].

As etapas do SYSMAP mostradas na Figura 11 podem ser descritas da seguinte maneira:

I) **Construção:** quando as palavras-chave são definidas, tentando obter uma busca eficiente para o conteúdo a ser estudado e escolha das bases de pesquisa.

II) **Filtragem:** ocorre a identificação dos artigos repetidos e a organização dos mesmos, pelos seus títulos e resumos.

III) **Cientometria/Bibliometria:** quando é identificado quais são os principais autores, periódicos e também palavras-chave sobre o tema estudado, entre outras informações relevantes.

IV) **Análise Sistemática ou Análise de Conteúdo:** nesta etapa ocorre a leitura integral dos artigos selecionados (na fase de filtragem, conforme títulos e resumos), sendo também o momento em que ocorre a identificação das lacunas de pesquisa sobre o tema estudado.

Neste trabalho, durante a primeira etapa do método SYSMAP, que é quando ocorre a elaboração da coleção de documentos sobre o tema estudado, foi utilizada a base de dados *Web of Science* e também a *Scopus*. Optou-se por utilizar a *Web of Science* por esta conseguir alcançar todos os periódicos indexados com um alto valor de impacto calculado no *Journal Citation Reports* (JCR). Já a *Scopus* foi utilizada por ser considerado o maior banco de dados de literatura revisada por pares, conforme Morioka e Carvalho (2016)[29].

Para esta pesquisa foi utilizado a combinação das seguintes palavras-chave: ((**“Industry 4.0” OR “Industrial Internet of Thing” OR “Smart Factor” OR “Smart Manufactur\$” OR “Cyber Physical Systems”**) AND (**“Barrier\$” OR “Obstacle\$” OR “Blocking\$”**)). A realização da pesquisa ocorreu no mês de março de 2020, sem restrição de anos nas buscas feitas nas bases de dados mencionadas anteriormente. Na Figura 12 é mostrado como foram realizadas as buscas na base de dados *Web of Science*, e em seguida, na Figura 13 é mostrado o resultado encontrado.

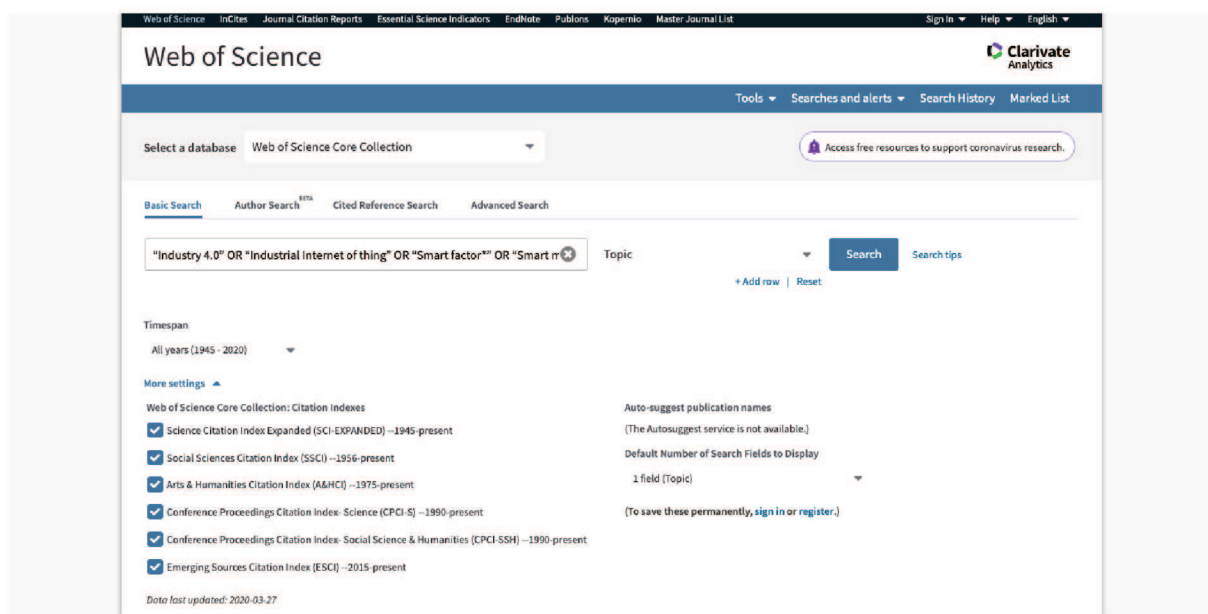


Figura 12 – Busca realizada na base de dados *Web of Science*.

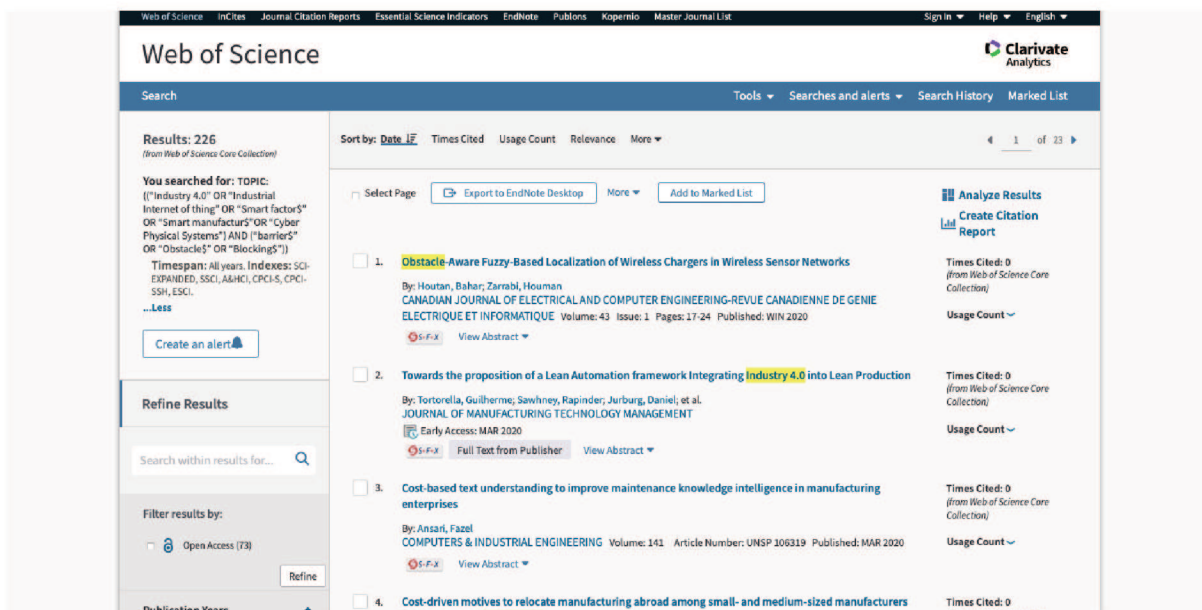


Figura 13 – Resultados encontrados na base de dados *Web of Science*.

Já a Figura 14 mostra a busca utilizando a mesma combinação de palavras, entretanto, para a base de dados *Scopus*. A Figura 15 mostra o resultado encontrado para a busca realizada nesta base de dados.

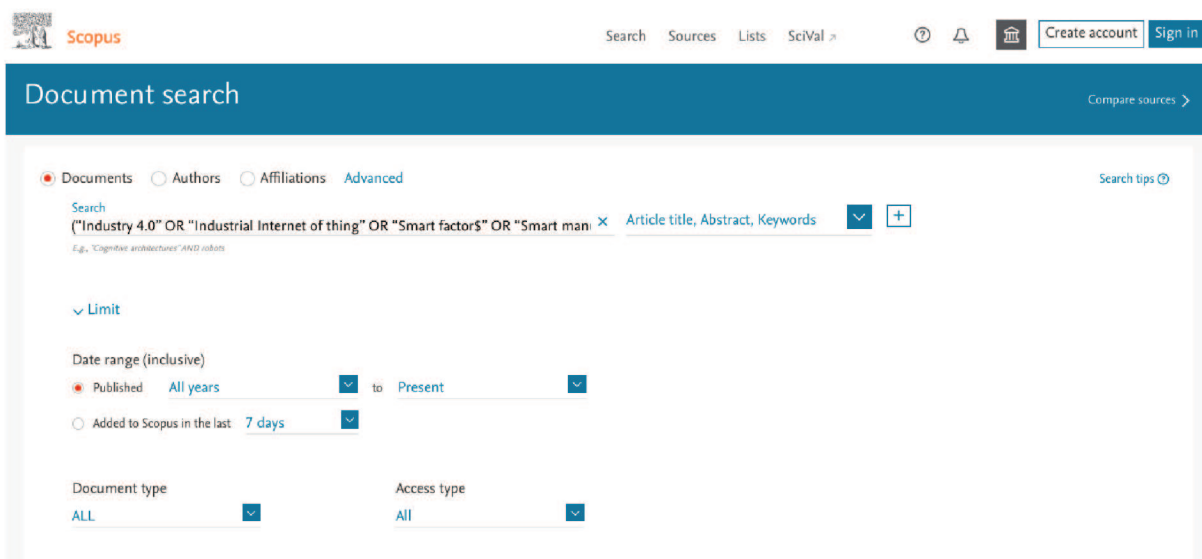


Figura 14 – Busca realizada na base de dados *Scopus*.

TITLE-ABS-KEY (("Industry 4.0" OR "Industrial Internet of thing" OR "Smart factors" OR "Smart manufactur" OR "Cyber Physical Systems") AND ("barriers" OR "Obstacle" OR "Blocking"))

422 document results

Search within results...

Refine results

Access type

- Open Access (82)
- Other (340)

Year

- 2020 (24)
- 2019 (168)
- 2018 (97)
- 2017 (50)

Documents Secondary documents Patents

Analyze search results

Show all abstracts Sort on: Date (newest)

Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1 Blockchain and Federated Learning for Privacy-Preserved Data Sharing in Industrial IoT	Lu, Y., Huang, X., Dai, Y., Mahajan, S., Zhang, Y.	2020	IEEE Transactions on Industrial Informatics 16(6),8843900, pp. 4177-4186	3
2 First-mover firms in the transition towards the sharing economy in metallic natural resource-intensive industries: Implications for the circular economy and emerging industry 4.0 technologies	Chiappetta Jabbour, C.J., De Camargo Fiorini, P., Wong, C.W.Y., (...), Paula Pinheiro, M.A., Ribeiro da Silva, H.M.	2020	Resources Policy 66,101596	0

Figura 15 – Resultados encontrados na base de dados *Scopus*.

Portanto, na **Fase 1** do método SYSMAP, que corresponde à **construção da coleção de documentos** a serem analisados, obteve-se 226 resultados na *Web of Science* e 422 resultados na segunda base, *Scopus*, totalizando 648 documentos. Esses resultados formaram a amostra 1 de documentos.

A **filtragem**, que corresponde à **Fase 2** do método SYSMAP, ocorreu para remoção dos documentos duplicados, e assim, dos 648 documentos, restaram apenas 473 (que foram utilizados na fase 3 - análise bibliométrica). Outro critério que foi utilizado na filtragem dos documentos, foi a disponibilidade dos mesmos. Nesta pesquisa, apenas 149 artigos estavam disponíveis. Além disso, os artigos foram submetidos à alinhamento dos títulos e resumos em relação ao objetivo da pesquisa. Assim, os artigos que não estavam alinhados com o tema foram excluídos (técnicos ou que não apresentavam informações sobre as barreiras da Indústria 4.0), restando 17 artigos para serem lidos integralmente (durante a fase 4 - análise sistêmica). Esses filtros têm a função de eliminar artigos indesejáveis e melhorar o processo de pesquisa, de modo a não dedicar tempo desnecessário à leitura em texto integral de artigos que não agregam valor ao objetivo do estudo. Para isso, utilizou-se o auxílio do *software EndNote*.

A terceira fase (**Fase 3**) compreende a **Análise Cientométrica** ou **Bibliométrica**, e foi realizada com o auxílio dos *softwares RStudio, VOSviewer e CitNetExplorer*. Para esta fase, foram utilizados os 473 documentos (não duplicados) encontrados nas duas bases de dados pesquisadas.

Posteriormente, procedeu-se a leitura integral dos conteúdos dos 17 artigos selecionados para a **Fase 4**, que corresponde à **Análise Sistêmica** ou **de Conteúdo**. Os trabalhos foram analisados conforme ênfase do presente estudo. Após a leitura destes 17 artigos, 7 foram descartados, pois não estavam realmente alinhados com a pesquisa,

apesar de parecerem durante a verificação de seus títulos e resumos. Entretanto, um artigo que tinha sido lido durante a realização deste trabalho pôde ser adicionado a estes documentos, pois estava alinhado com o tema. E assim, foi construída a amostra 2, com o total de 11 artigos. Através desses 11 artigos foi feita a categorização das barreiras e obstáculos para a implementação da Indústria 4.0 nas empresas, e também, foram levantadas as oportunidades e lacunas de pesquisas.

Para a análise de conteúdo, a partir da leitura integral dos artigos, optou-se pelo agrupamento das barreiras e obstáculos encontrados na Indústria 4.0. Sendo assim, a categorização resultou em:

- Quais os conceitos e definições sobre o assunto usado pelos autores?
- Quais os tipos de metodologias usado pelos autores?
- Quais as regiões/países/setores que implementaram e estão desenvolvendo estudos sobre Indústria 4.0?
- Quais as barreiras e obstáculos identificados pelos autores na implementação da Indústria 4.0?
- Quais as recomendações de trabalhos futuros pelos autores?

Vale ressaltar que se após as buscas e filtragens restasse uma grande quantidade de documentos, alguns *softwares* complementares poderiam ser utilizados para auxiliar no processo de análise dos mesmos. O *NVivo* é um exemplo de *software* que poderia ser utilizado, pois trabalha com o conceito de projeto, onde fontes de informação do projeto, e também os dados gerados durante o processo de análise, e também, categorias de informações são armazenados em um banco de dados (LAGE, 2011)[30]. Outro exemplo de *software* é o *ATLAS.ti*, que é uma ferramenta para análise de dados qualitativos que pode auxiliar o gerenciamento e interpretação desses dados (WALTER; BACH, 2015)[31]. Entretanto, para esse trabalho não foram utilizados *softwares* para a análise de conteúdo devido à pequena quantidade de documentos encontrados.

A Figura 16 traz um resumo do que aconteceu em cada uma das fases do método SYSMAP, para melhor entendimento das mesmas.

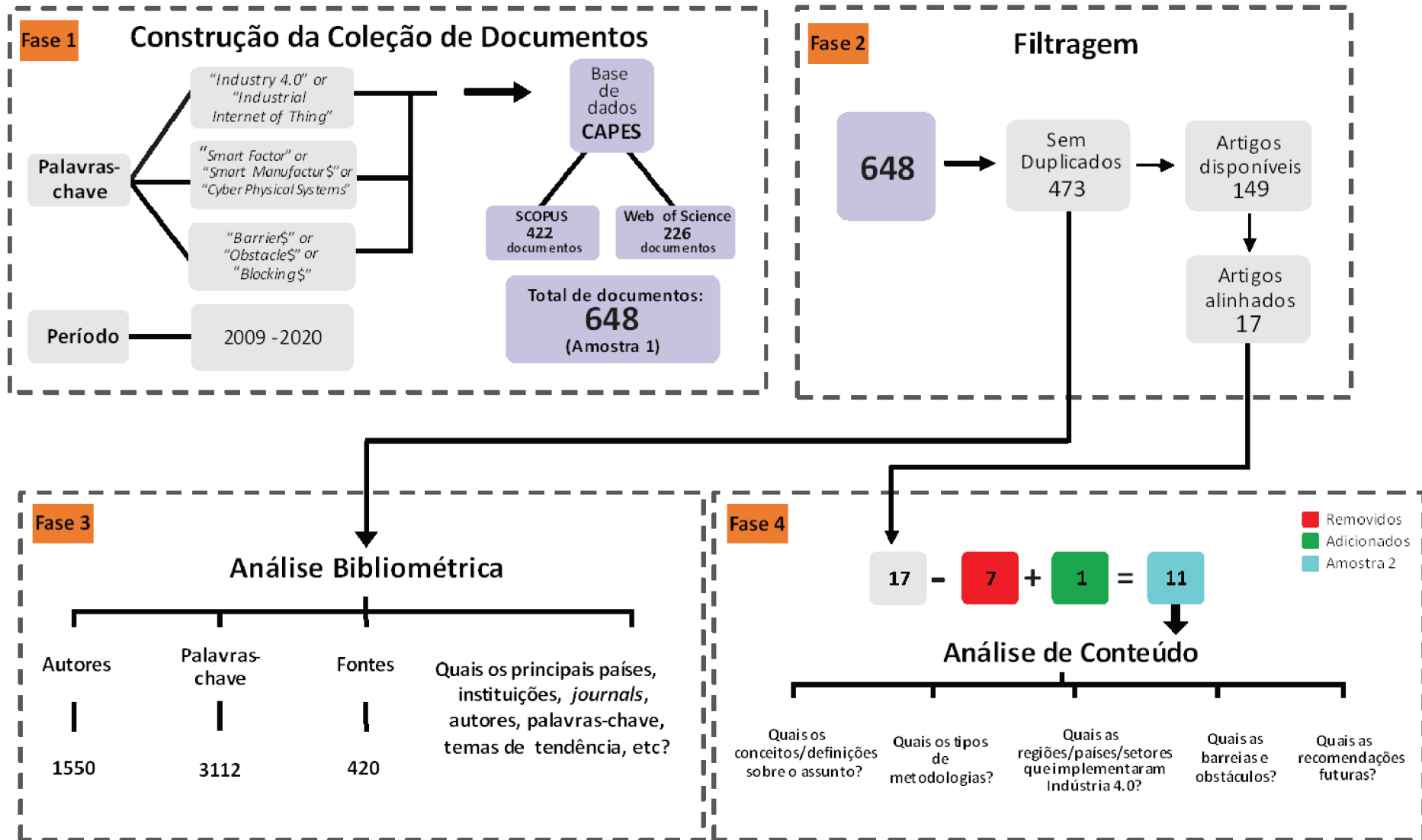


Figura 16 – Fases do método SYSMAP conforme essa pesquisa.

3.3 Análise e Tabulação dos Dados

Para a coleta e tabulação de dados foram utilizados *softwares* específicos para revisão de literatura estruturada, sendo estes mostrados a seguir.

3.3.1 *EndNote*

É um *software* desenvolvido pela *Thomson Scientific* no qual é possível fazer a gestão de referências bibliográficas, sendo integrado com a base de dados *Web of Science*. Segundo Herbert (2002)[32], por permitir reunir referências bibliográficas a partir de base de dados *online*, importando metadados e agrupando os mesmos de diversas maneiras, esse *software* é capaz de facilitar o trabalho de pesquisa e escrita de trabalhos científicos. Para esse trabalho foi usado como gerenciador de referências e importador de metadados das bases de dados *Web of Science* e *Scopus*.

A Figura 17 mostra exemplo do *EndNote* x9, última versão do *software* utilizado nessa pesquisa.

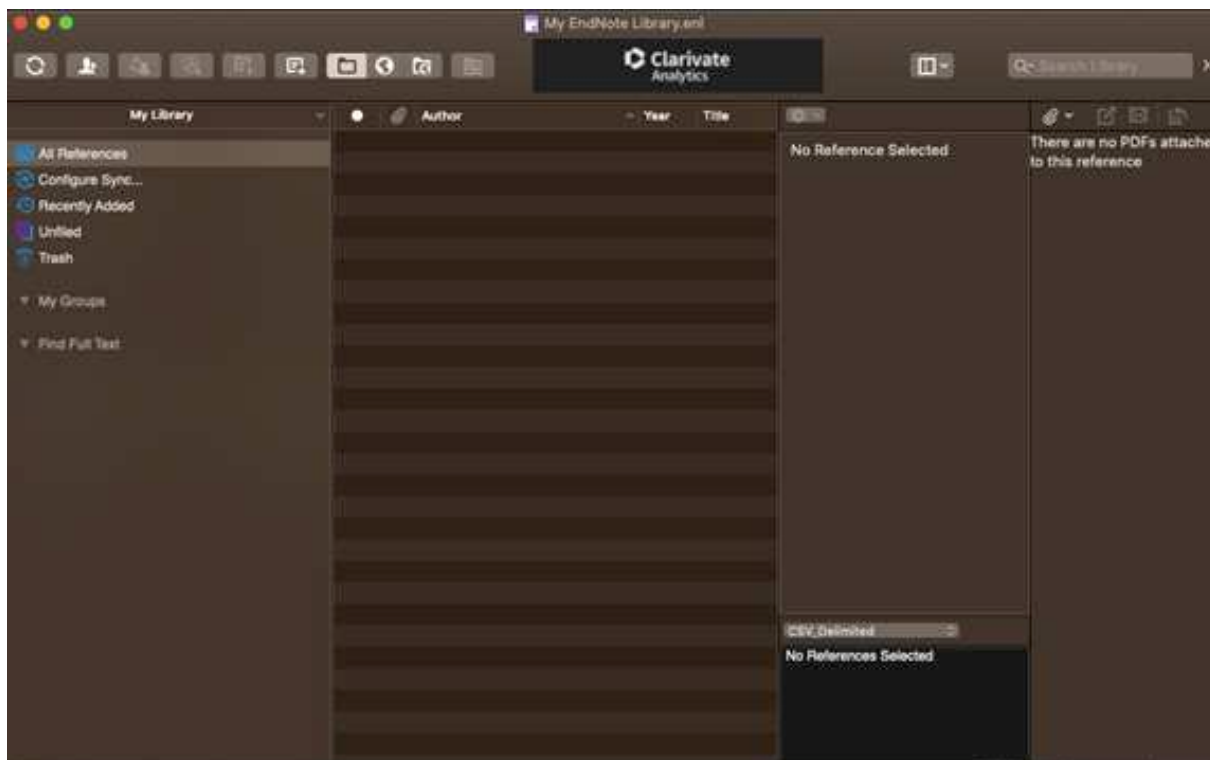


Figura 17 – *Software EndNote*.

3.3.2 *VOSviewer*

Conforme Van Eck e Waltman (2010)[33], *VOSviewer* trata-se de um *software* capaz de construir redes bibliométricas baseadas em dados baixados de bases de dados bibliográficas, como por exemplo, *Web of Science* e *Scopus*. Para esse trabalho foi usado

para as análises de redes de cocitação de autores, países, instituições, co-ocorrência de palavras-chave.

A Figura 18 mostra exemplo do *VOSviewer*, *software* utilizado nessa pesquisa.

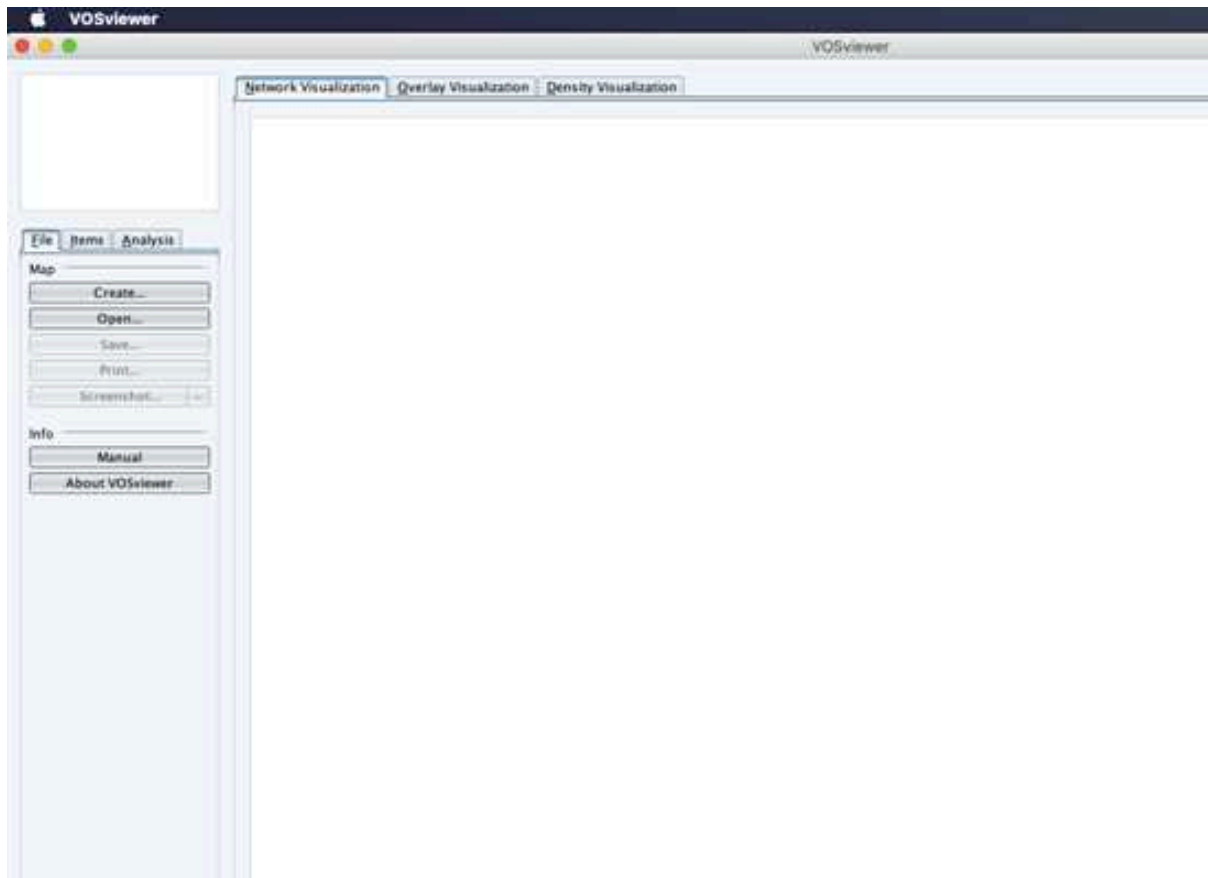
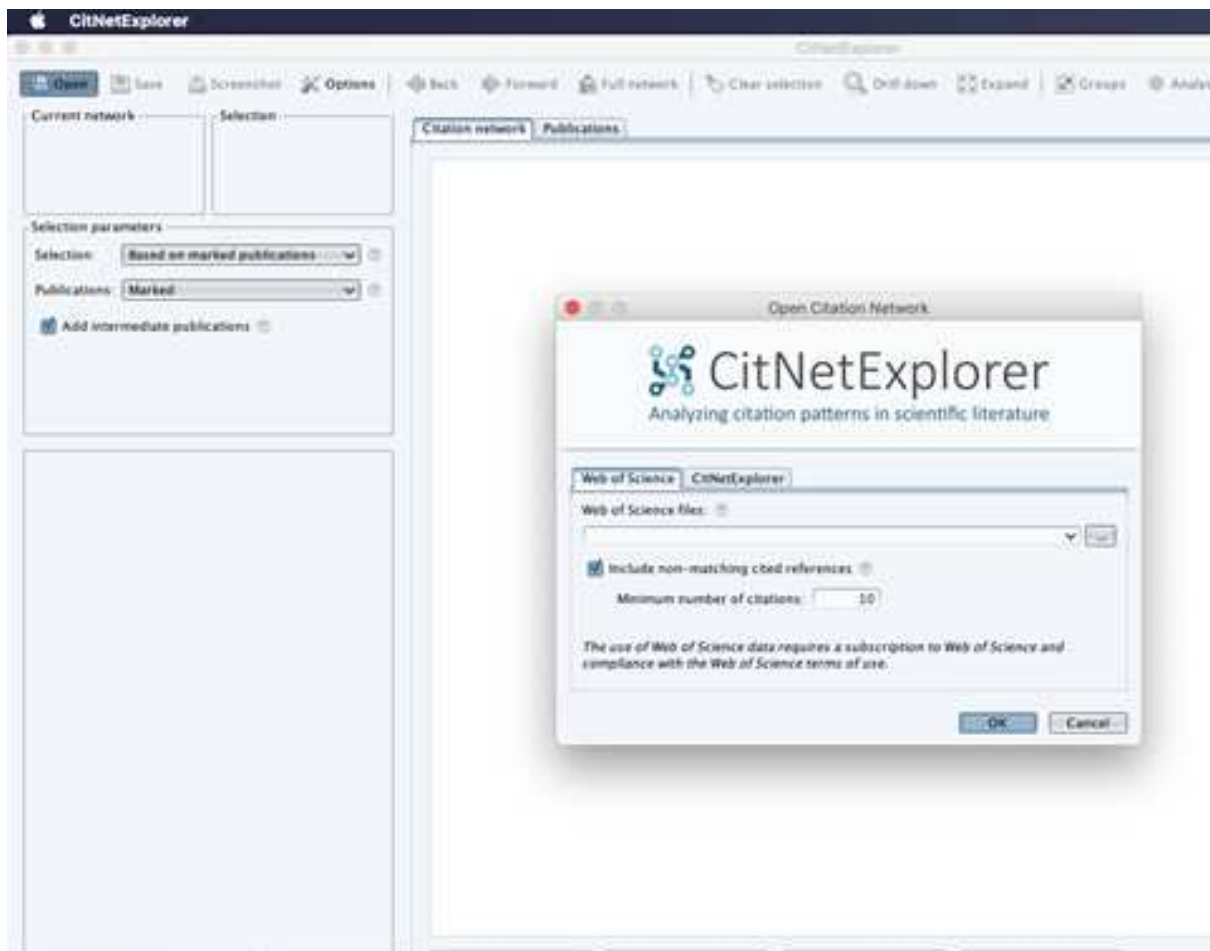


Figura 18 – *Software VOSviewer*.

3.3.3 *CitNetExplorer*

Segundo o Centro de Estudos de Ciência e Tecnologia da Universidade de Leiden (2020?) [34], o *CitNetExplorer* trata-se de uma ferramenta que possibilita visualizar e analisar redes de citações e de publicações científicas. Através dessa ferramenta é possível fazer importações de citações direto do banco de dados da *Web of Science*. Através dessa ferramenta também é possível explorar redes de citação de forma interativa, podendo detalhar uma rede desejada e identificar grupos de publicações relacionados. Foi desenvolvido por Neel Lan Van Eck e Ludo Waltman, que também são os responsáveis pelo desenvolvimento do *software VOSviewer*.

Para esse trabalho, esse *software* foi usado para análise da rede histórica de citação direta de autores, também chamado de historiograma. A Figura 19 mostra o *CitNetExplorer*.

Figura 19 – Software *CitNetExplorer*.

3.3.4 *RStudio*

Segundo Torgo (apud R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2006)[35], R é uma linguagem e também ambiente de programação para realizar gráficos estatísticos em computadores. É uma linguagem focada em computação com dados, tendo como grande destaque sua gratuidade e compatibilidade com diversos sistemas operacionais. Para esse trabalho foi usado para as contagens dos dados, análise de correspondência múltipla ou *Multiple Correspondence Analysis* (MCA), análise de dendrograma, mapa temático, análise de cocitações, análise de co-ocorrências, análise de colaborações, análise historiográfica e análise de tendência de palavras. A Figura 20 mostra o *RStudio*, utilizado nessa pesquisa.

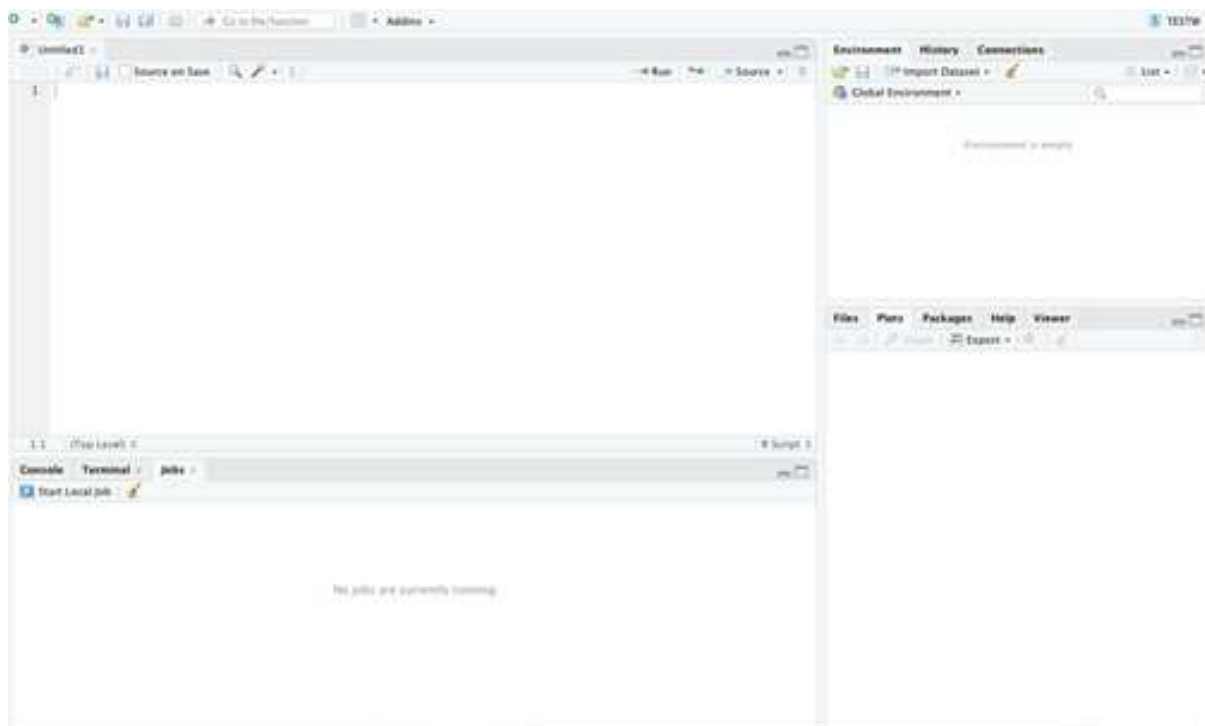


Figura 20 – Software RStudio.

4 Resultados e Discussão

Nesse capítulo, os resultados e discussões estão separados em quatro (4) tópicos, sendo estes: 4.1 Dados Iniciais da Pesquisa; 4.2 Análise Bibliométrica, na qual são apresentados os dados quantitativos dos artigos encontrados nas bases de dados; 4.3 Análise Sistêmica, que está composta das análises de conteúdo dos artigos e por fim, 4.4 Oportunidades e Lacunas de Pesquisas.

4.1 Dados Iniciais da Pesquisa

Os resultados iniciais da pesquisa a respeito do tema Indústria 4.0 e suas barreiras de implementação, realizada nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus* em março de 2020, são apresentados a seguir.

Nesta busca foram utilizadas as seguintes palavras-chave: ((***“Industry 4.0”*** OR ***“Industrial Internet of Thing”*** OR ***“Smart Factor”*** OR ***“Smart Manufactur\$”*** OR ***“Cyber Physical Systems”***) AND (***“Barrier\$”*** OR ***“Obstacle\$”*** OR ***“Blocking\$”***)) para ambas bases de dados. Com essa busca, na *Web of Science* foram encontrados 226 resultados e na *Scopus* 422.

A Tabela 1 apresenta os principais dados encontrados nessa busca. Como pode ser observado nesta mesma tabela, 1.550 autores escreveram sobre o tema, em 648 documentos.

Tabela 1 – Principais dados encontrados na pesquisa.

Descrição	Resultado
Documentos	648
Fontes (<i>Journals</i> , Livros, etc.)	420
Palavras-chave Plus (ID)	3.112
Palavras-chave do autor (DE)	1.391
Período	2009 – 2020
Média de citações por documento	6,002
Autores	1.550
Aparições de autores	2.275
Autores de documentos com autoria única	47
Autores de documentos com vários autores	1.503
Documentos de autoria única	76
Documentos por autor	0,418
Autores por documento	2,39
Coautores por documentos	3,51
Índice de colaboração	2,63

Desses 648 documentos encontrados, 253 eram artigos, 11 eram capítulos de livros, 231 publicações em conferências, 17 revisões de conferência, 104 anais, 17 revisões, entre outros. A classificação por tipo, e também a frequência encontrada, dos 648 documentos da pesquisa, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Tipo de documento e frequência.

Tipo	Frequência
Artigo	253
Artigo em imprensa	1
Artigo publicado antes da impressão	9
Artigo, anais de eventos	1
Capítulo de livro	11
Publicações em conferências	231
Revisão de conferências	17
Material editorial	2
Anais	104
Revisão	17
Revisão, acesso antecipado	1
Pesquisa breve	1

Tanto na *Web of Science* quanto na *Scopus* foram utilizados todos os anos disponíveis para realizar a busca. Entretanto, como pode ser observado na Figura 21, que mostra a produção científica anual, a partir do ano de 2009 que começaram a ser publicados os primeiros documentos sobre o tema, apesar do termo Indústria 4.0 ter surgido apenas em 2011. Provavelmente os documentos encontrados antes de 2011 estão relacionados a outras palavras utilizadas na busca, como Sistemas Cyber-Físicos, e não Indústria 4.0 de fato. Também é possível notar nessa figura que apenas no ano de 2013 e em 2020 não houve crescimento na publicação de documentos. Entretanto, a pesquisa foi realizada em março, ou seja, ainda no primeiro trimestre do ano, o que poderia justificar a baixa quantidade de documentos em 2020.

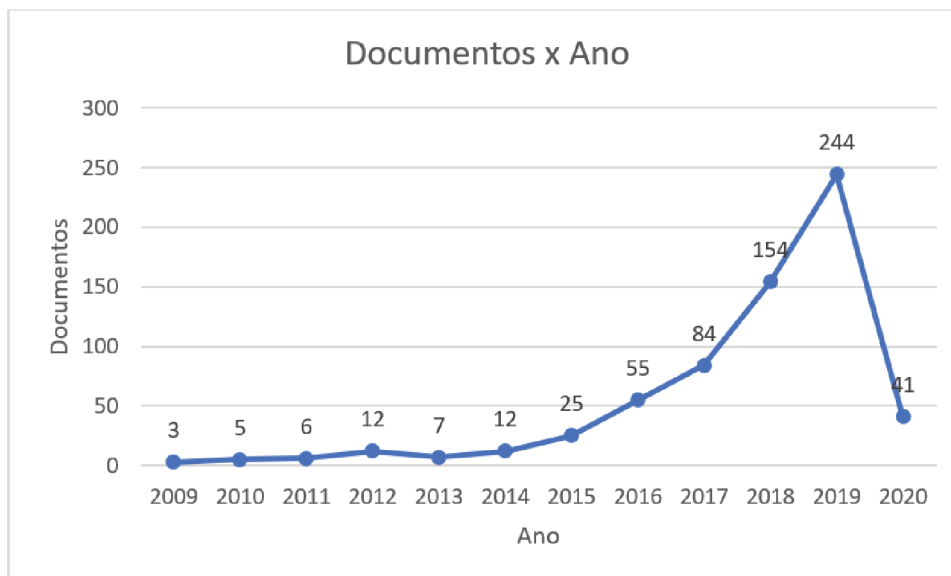


Figura 21 – Produção científica anual.

4.2 Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica é a terceira etapa do método SYSMAP. Nessa etapa, são analisados os dados quantitativos da pesquisa, com base nos 473 artigos (não duplicados) resultantes após o processo de filtragem (fase 2).

Na Figura 22 é possível observar quais são os *journals* que mais possuem artigos sobre Indústria 4.0 e suas barreiras. A *Lecture Notes in Computer Science* (LNCS), incluindo suas sub-séries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* (LNAI) e *Lecture Notes in Bioinformatics* (LNBI), é a revista que mais possui artigos sobre o tema dessa pesquisa, com 19 publicações. Esse *journal* é um meio para a publicação de novas pesquisas e desenvolvimento em assuntos relacionados à ciência da computação, tecnologia da informação e ensino.

Em segundo lugar está o *journal IFAC-PapersOnline*, que aborda temas relacionados à tecnologia de controle e ciência, abordando desde engenharia, sistemas físicos, biológicos, sociais e econômicos, abrangendo tanto teoria quanto prática. Segundo a pesquisa, 15 publicações foram realizadas nesse *journal* sobre a área pesquisada nesse trabalho.

Ainda conforme a Figura 22, o terceiro *journal* com mais publicações é o *IEEE Access*, com 14 publicações. Esse *journal* aborda desde artigos novos de pesquisas tradicionais, revisões ou pesquisas de novas áreas ou em desenvolvimento, artigos de engenharia aplicada que abordam novas maneiras de se fazer experimentos ou mesmo técnicas de medição, soluções interessantes para a engenharia (mesmo se forem resultados negativos). Também são publicados tópicos multidisciplinares ou artigos orientados a aplicações que não são classificados no escopo dos periódicos tradicionais do IEEE.

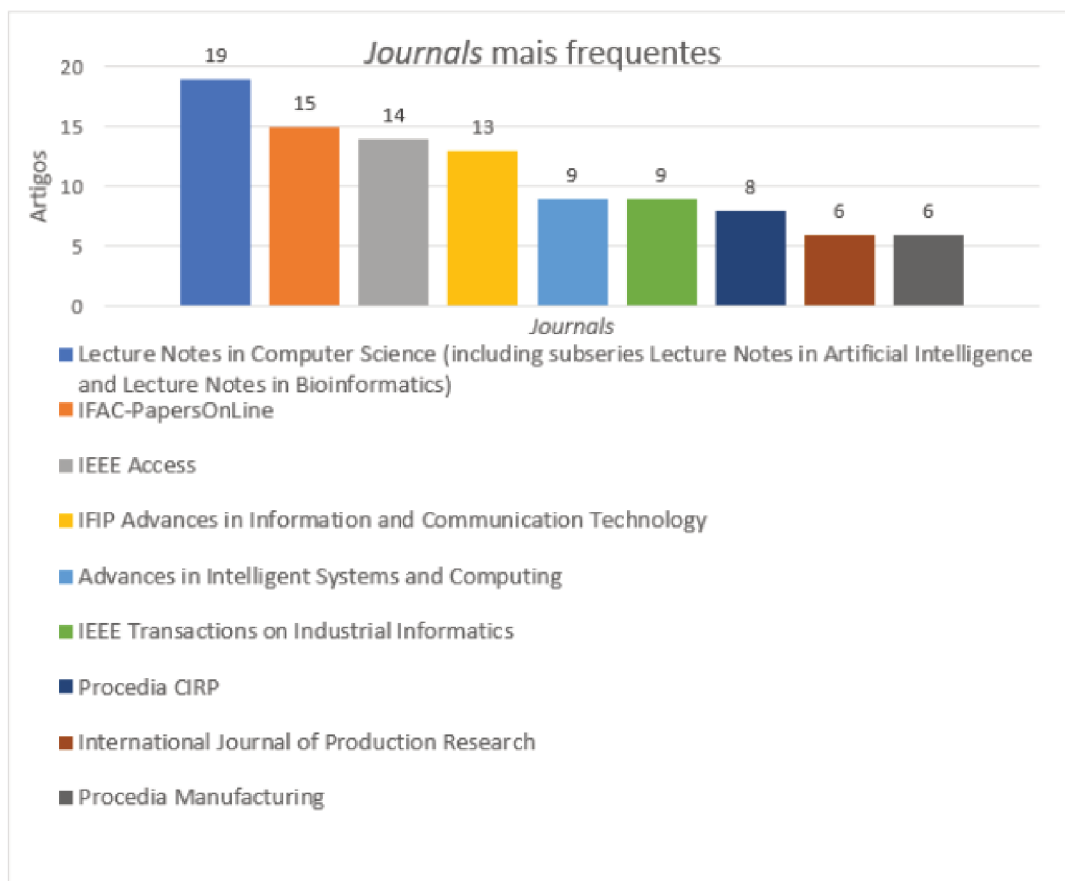


Figura 22 – Gráfico dos *journals* mais frequentes.

Já o quarto *journal* com mais publicações, que é o IFIP *Advances in Information and Communication Technology* (IFIP AICT), faz publicações com resultados nas seguintes áreas: ciência da computação, teoria e prática de *software*, educação, aplicações informáticas em tecnologia, sistemas de comunicação, modelagem e otimização de sistemas, sistemas de informação, tecnologia de comunicação da informação e sociedade, tecnologia de sistemas de computação, segurança e proteção de sistemas de processamento de informações, inteligência artificial e interação entre pessoas e computadores. Segundo a pesquisa, possui 13 publicações sobre o tema.

A rede de cocitação entre *journals*, que representa *journals* que são citados de forma conjunta, é mostrada na Figura 23. Nesta figura pode-se notar que existem 3 *clusters*, que são representados pelas cores: vermelho, azul e verde. Quanto maior for a circunferência representada na figura, mais vezes o respectivo *journal* foi citado.

No *cluster* vermelho, destacam-se: *International Journal of Production Research* (Revista Internacional de Pesquisa em Produção), que aborda relatórios de manufatura, produção e pesquisa de gerenciamento de operações, o *Journal of Cleaner Production* (Revista de Produção Mais Limpa), que aborda pesquisas e práticas de produção mais limpa, ambiental e de sustentabilidade, e também, *Sustainability* (Sustentabilidade), que aborda temas voltados para sustentabilidade ambiental, cultural, econômica e

social.

No *cluster* azul, os destaques são para: **Production** (Produção), que é uma revista da Associação Brasileira de Engenharia de Produção, trazendo artigos acadêmicos nas áreas de engenharia e gerenciamento industrial, produção, manufatura e operações. **Computers in Industry** (Computadores na Indústria), que mostra formas de integrar diferentes campos de tecnologia em relação à área de aplicativos de computador para a indústria, unindo diferentes áreas de aplicação das TIC e mostrando novas tendências de uso de TIC na indústria. Também faz parte deste *cluster* **Technological Forecasting and Social Change** (Previsão Tecnológica e Mudança Social), que aborda metodologias que fazem previsão tecnológica e estudos futuros sobre ferramentas e planejamento, levando em conta fatores tecnológicos, ambientais e também sociais.

Co-Citation Network - Journals

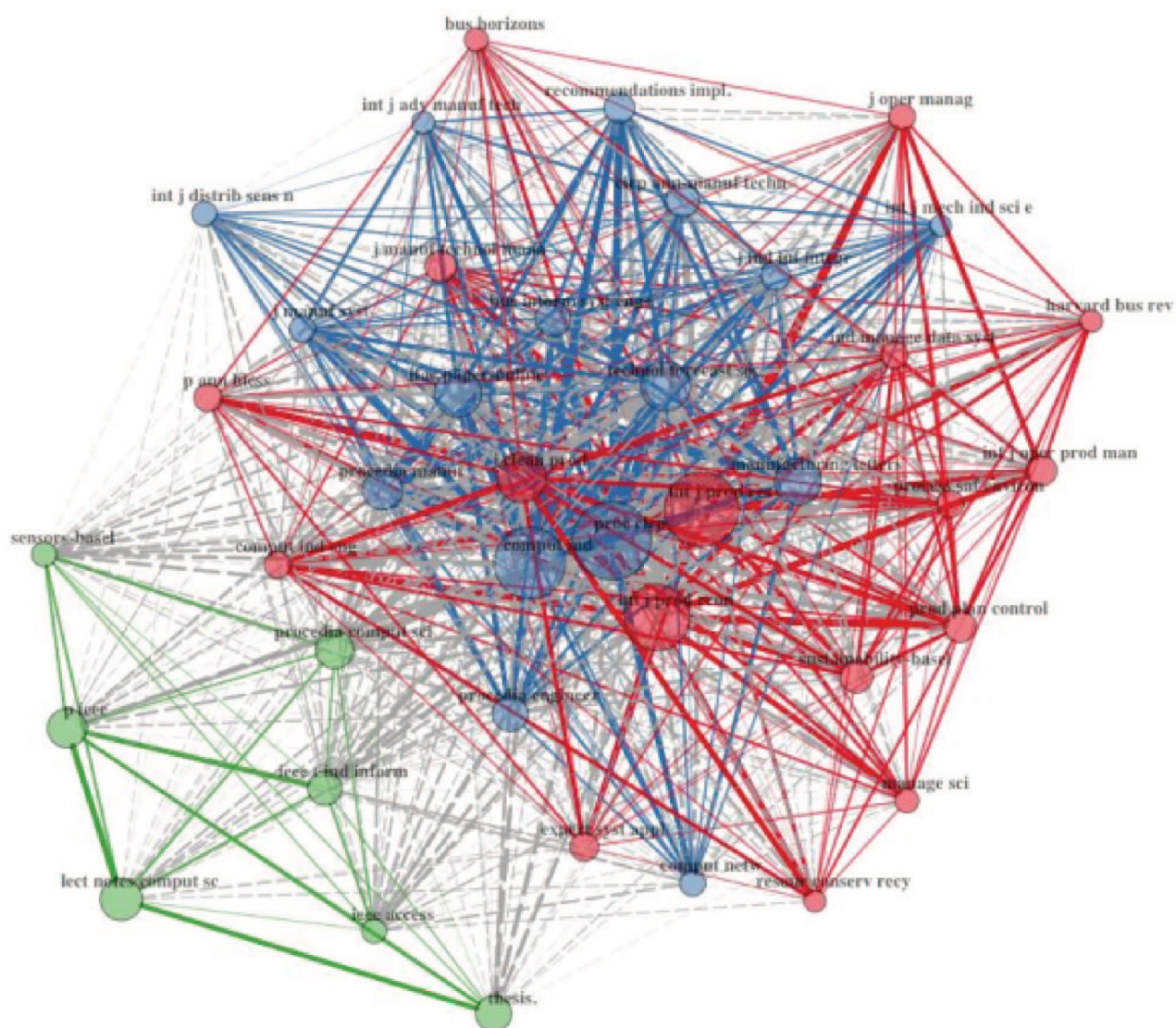


Figura 23 – Rede de cocitação entre *journals*.

Por fim, no *cluster* verde estão: ***Proceedings of the IEEE*** (Anais do IEEE), que apresenta pesquisas e tutoriais nas áreas de eletrônica, engenharia elétrica, computadores e ciência da computação. Também faz parte do *cluster* verde a ***Lecture Notes in Computer Science*** (Notas de Palestra em Ciência da Computação), que conforme o título, aborda materiais referentes a Ciência da Computação. Neste mesmo *cluster* também está a ***Procedia Computer Science*** (Procedimentos Ciência da Computação), que faz publicações de anais de conferências.

Pode-se notar que os *journals* do *cluster* vermelho são mais voltados para produção e sustentabilidade, enquanto que no *cluster* azul são mais voltados para produção e computação, e por fim, no *cluster* verde são mais voltados para computação e engenharia elétrica, entre outras engenharias relacionadas.

As linhas representadas na cor cinza nessa figura representam quando um *journal* de um *cluster* é citado junto com um *journal* de outro *cluster*. Pela quantidade de linhas cinzas, pode-se notar que é bem comum entre esses *journals* serem citados com *journals* de outros *clusters*, mostrando como as áreas de produção, computação, engenharia e sustentabilidade estão bastante relacionadas em vários artigos dessas revistas.

Nessa pesquisa também foi possível saber quais são as instituições que mais possuem artigos a respeito da Indústria 4.0 e seus desafios. A *Northeastern University* e também a *University of Texas at Dallas* são as instituições que mais possuem artigos sobre o tema (10), seguidas pela *University of California* (8), e também pela *University of Johannesburg* (5). Essas informações podem ser observadas na Figura 24.

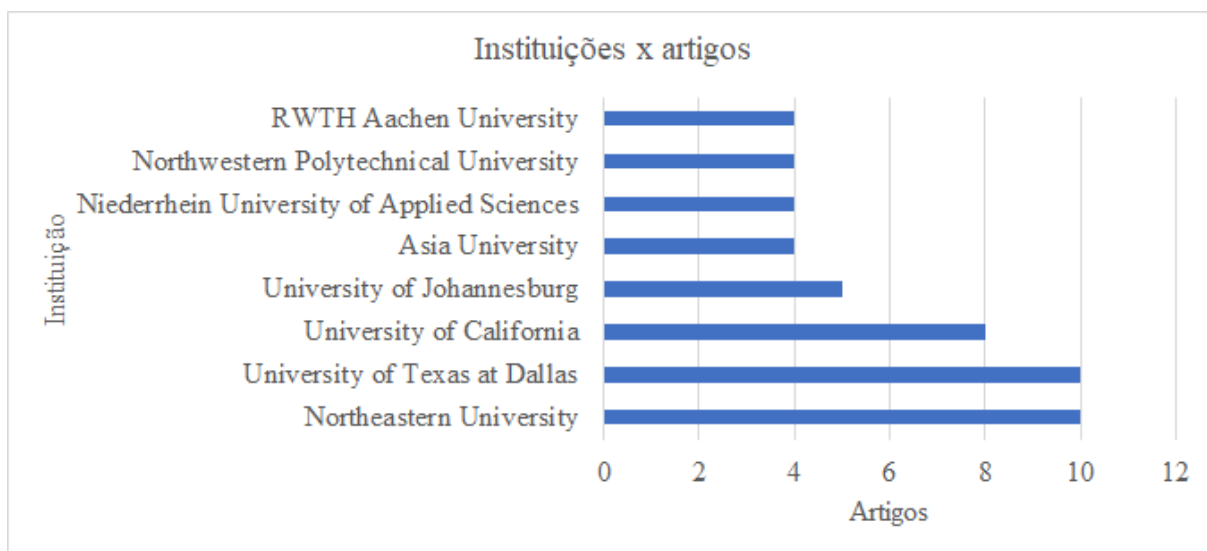


Figura 24 – Gráfico das instituições mais frequentes.

Na Figura 25 é possível observar a colaboração entre instituições de ensino a respeito das barreiras da implementação da Indústria 4.0. Nessa figura são mostrados 12 *clusters*, cada um representando um grupo diferente de colaboração entre as instituições. Quanto

maior for a circunferência de uma instituição, maior é a sua colaboração em pesquisas sobre o tema com outras instituições.

Ainda conforme a Figura 25, existe uma grande colaboração entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Universidade Politécnica de Milão (*Politecnico di Milano*) e também a Universidade do Tennessee (*University of Tennessee*). Além disso, a UFSC também possui grande colaboração com a Universidade de Derby (*University of Derby*), que é uma instituição inglesa. Essa colaboração é representada pelo *cluster* azul claro no centro da figura.

Também é possível observar que existe uma grande colaboração entre instituições asiáticas, representadas pelo *cluster* verde claro no canto inferior esquerdo da figura. As instituições com mais colaboração dentro desse *cluster* são a Universidade de Medicina da China (*China Medical University*) e Universidade da Ásia (*Asia University*), localizada em Taiwan.

Outro destaque de colaboração entre instituições é o *cluster* azul escuro no canto inferior direito da figura. Esse *cluster* é formado pela Universidade Cristã Dimitrie Cantemir (*Dimitrie Cantemir Christian University*), pela Universidade Titu Maiorescu (*Titu Maiorescu University*) e também pela Faculdade de Ciências Econômicas (*Faculty of Economic Sciences*), sendo as duas primeiras citadas da Romênia e a outra da Polônia.

Portanto, pode-se perceber que existem colaborações entre países mais próximos como é o caso do *cluster* verde e azul escuro, mas que também existem colaborações entre países de continentes diferentes, como ocorre com a UFSC colaborando com instituições europeias no *cluster* azul claro.

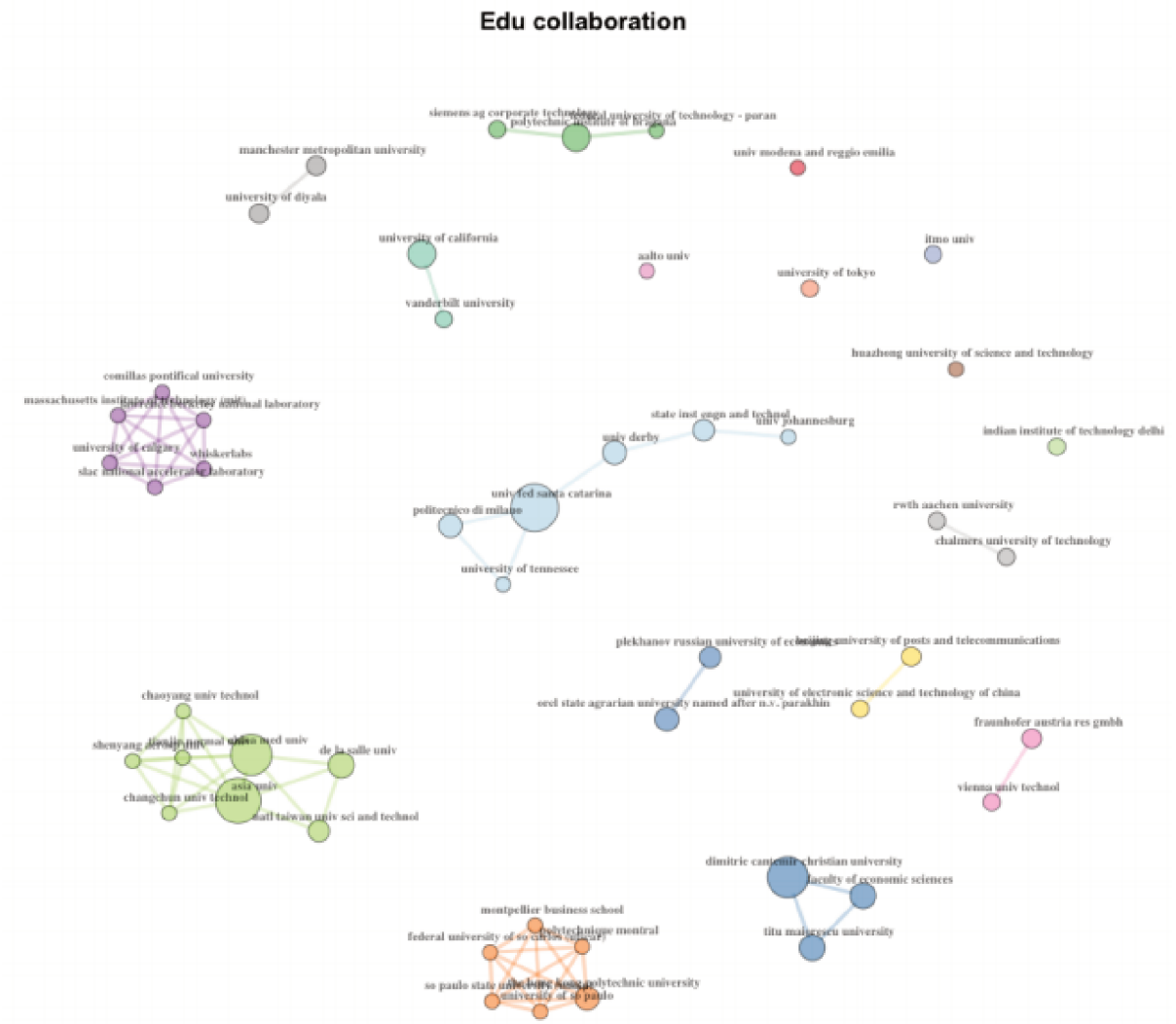


Figura 25 – Colaboração entre instituições.

A Figura 26 mostra um gráfico de quais são os autores que mais produziram artigos sobre os obstáculos da Indústria 4.0. Como pode ser observado no gráfico, o autor com mais documentos é Y. Zhang com 4 produções, seguido por C. J. Anumba, J. V. Deshmukh, A. Kashevnik, P. Leitao, S. Li, E. Rauch, W. Sihm, G. Tortorella. e K. Zhang, todos com 3 produções.

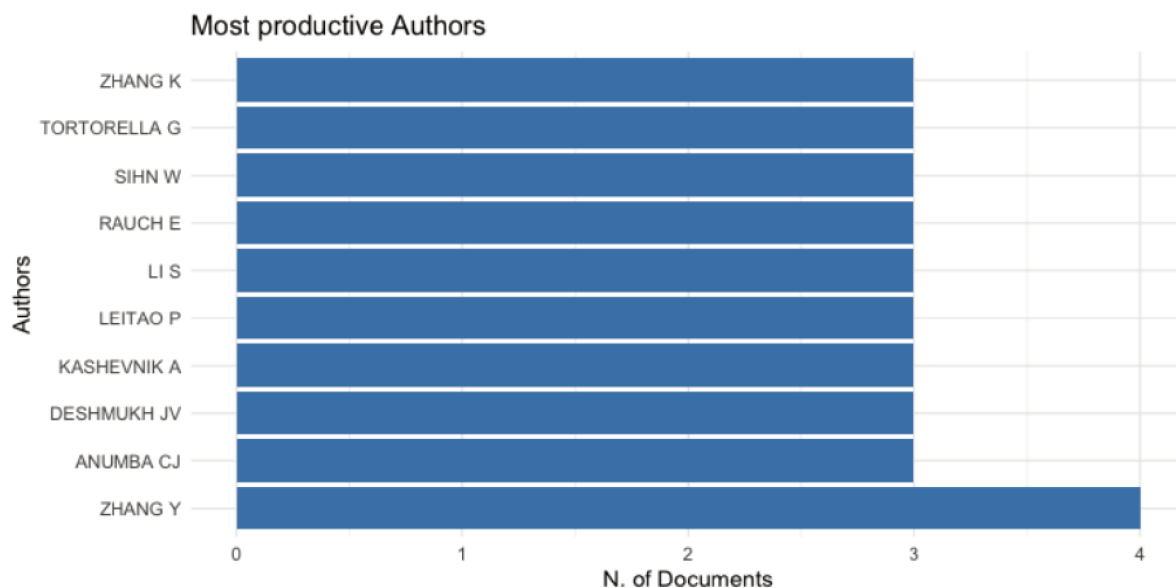


Figura 26 – Gráfico dos autores mais produtivos.

Assim como a Figura 25 mostrava a colaboração entre instituições, a Figura 27 mostra a colaboração entre autores. Nessa figura é possível ver que existem 10 *clusters*. No *cluster* verde escuro, no canto superior esquerdo da figura é possível notar que Y. Zhang é o autor com mais colaborações, sendo que esse também era o autor mais produtivo, conforme o gráfico da Figura 26. Colaboraram com Y. Zhang os seguintes autores: M. Huang, W. Feng e X. Huang.

Outro autor com bastante colaborações é G. Tortorella, que aparece no *cluster* azul no lado esquerdo da Figura 27. Em outro *cluster* azul, mas agora na parte superior da figura, pode-se notar que P. Leitao também fez bastante colaborações com outros autores.

Na parte inferior da Figura 27, no *cluster* amarelo, existem 6 autores que aparentam ter bastante colaboração entre si. Faz parte desse *cluster* K. Zhang, que também aparece como um dos autores mais produtivos no gráfico da Figura 26.

No canto inferior esquerdo da Figura 27 existe o *cluster* roxo, que apesar de ter menos colaborações (em quantidade de documentos, considerando o tamanho das circunferências), é o *cluster* no qual os autores mais colaboram uns com os outros (em quantidade de autores).

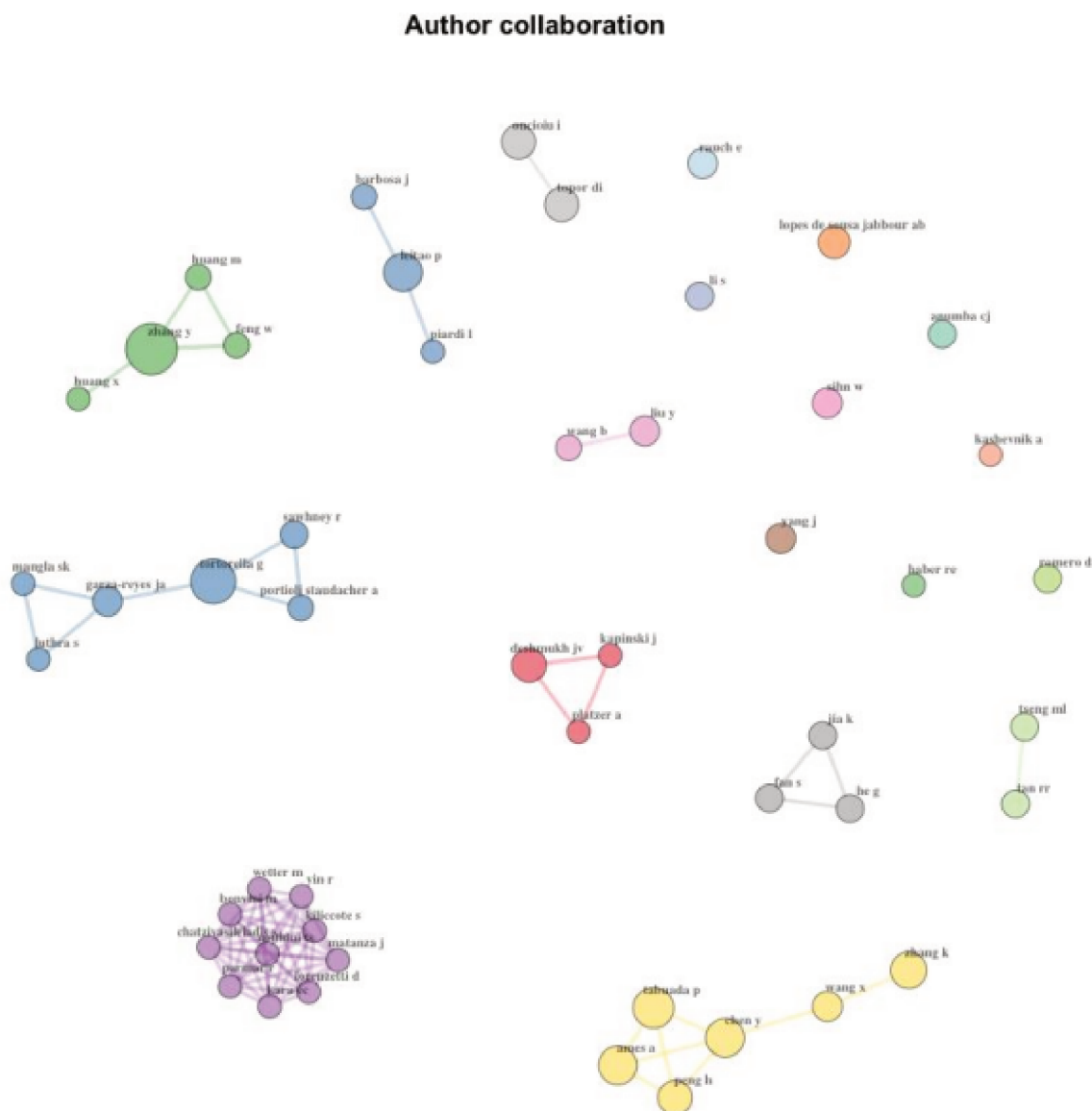


Figura 27 – Colaboração entre autores.

A rede de cocitação entre autores, ou seja, quando autores são citados de forma conjunta, é mostrada na Figura 28. Pode-se observar que existem 4 *clusters* nessa figura, representados pelas seguintes cores: verde, azul, roxo e vermelho.

O *cluster* azul é o que possui as maiores circunferências, ou seja, os autores que são mais citados, sendo eles H. Kagermann juntamente com autores anônimos. No *cluster* vermelho os mais citados são Jay Lee e H. Lasi. No *cluster* roxo destacam-se Y. Lu, R. Y. Zhong e T. Stock. No *cluster* verde destacam-se J. M. Muller e A. Schumacher.

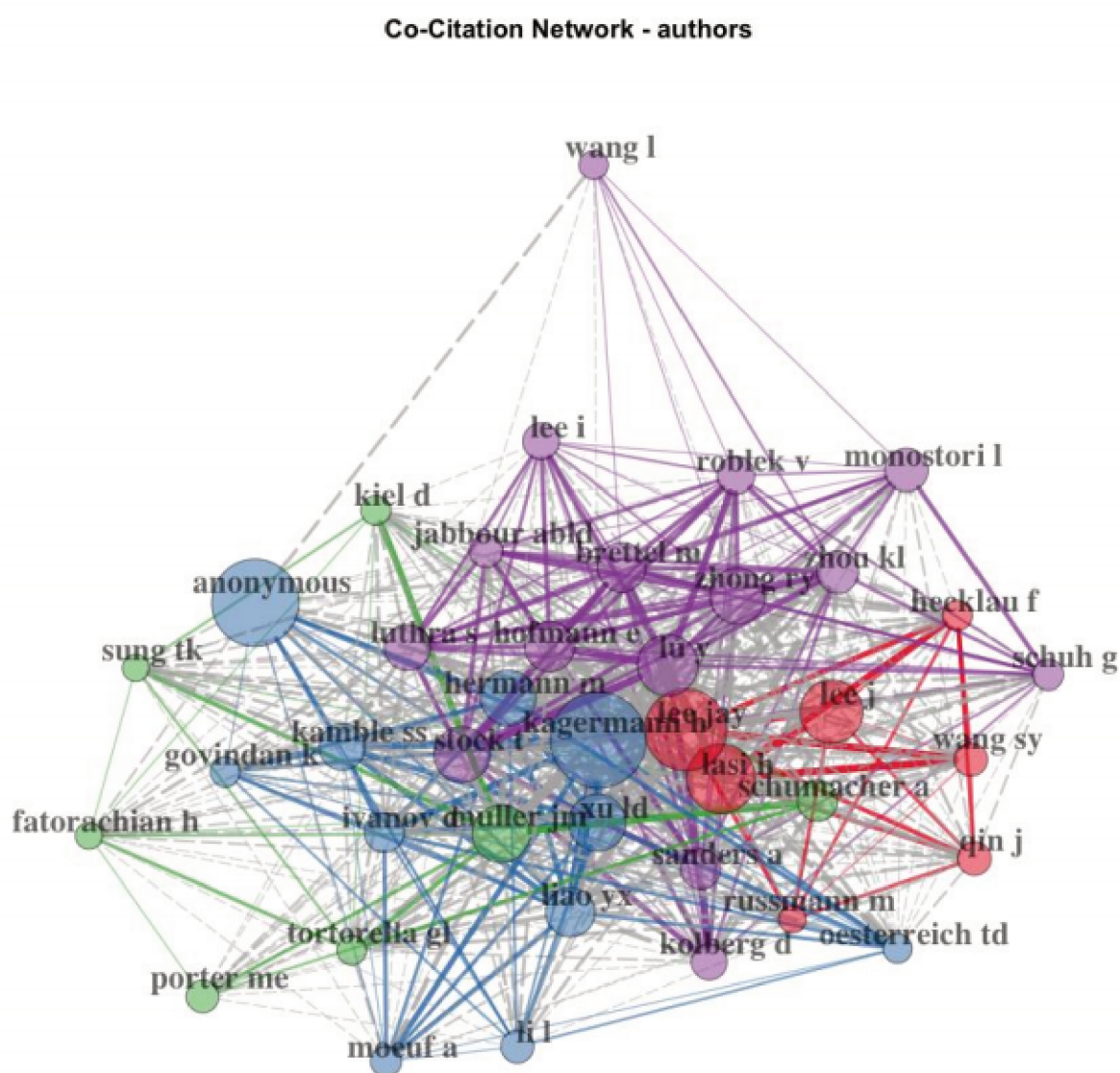


Figura 28 – Rede de cocitação entre autores.

Nessa pesquisa também foi possível saber quais são os países com as maiores produções de documentos sobre a Indústria 4.0 e suas barreiras. O gráfico da Figura 29 traz as informações a respeito dos países mais produtivos, tanto para publicações individuais, quanto para colaboração entre outros países. Conforme o gráfico, o país com maior número de produção individual é a Alemanha. Os Estados Unidos da América são o país que mais teve produções em colaborações. Já o Brasil, aparece na oitava posição (ao somar o número de produções individuais e em colaborações).

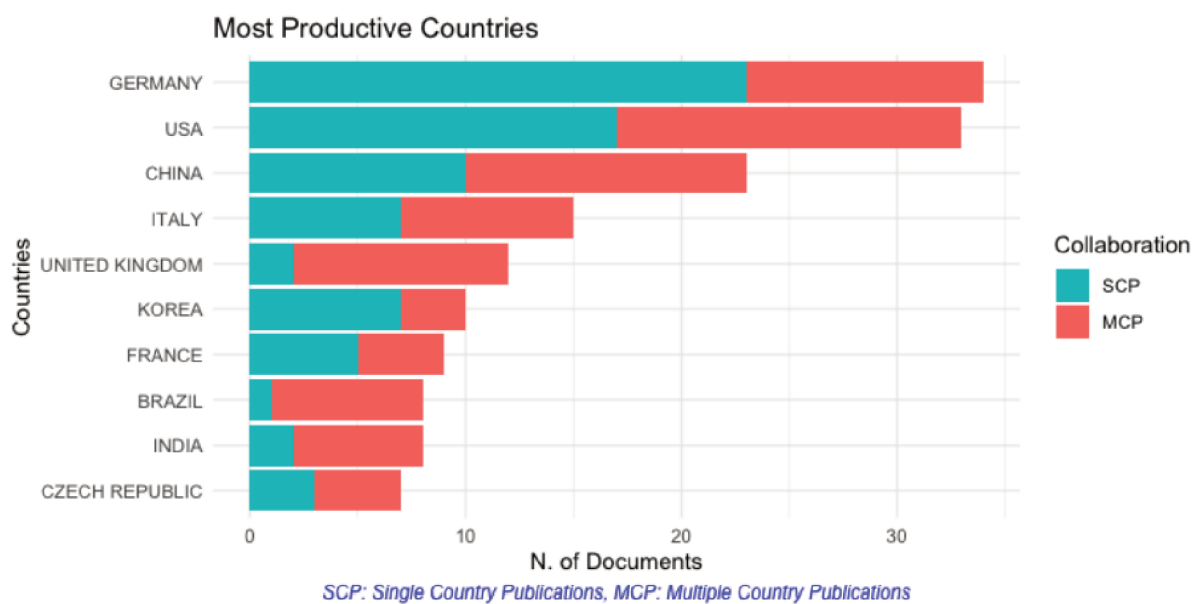


Figura 29 – Gráfico de produtividade de documentos por país.

Na Figura 30 é possível observar como é o nível de colaboração de pesquisas entre países. Conforme essa figura, os Estados Unidos possuem a maior quantidade de pesquisas feitas em colaboração com outros países (considerando o diâmetro da sua circunferência na Figura 30). Além disso, os EUA também são um dos países que mais fizeram colaborações com mais países diferentes (pela quantidade de ligações mostradas na mesma figura).

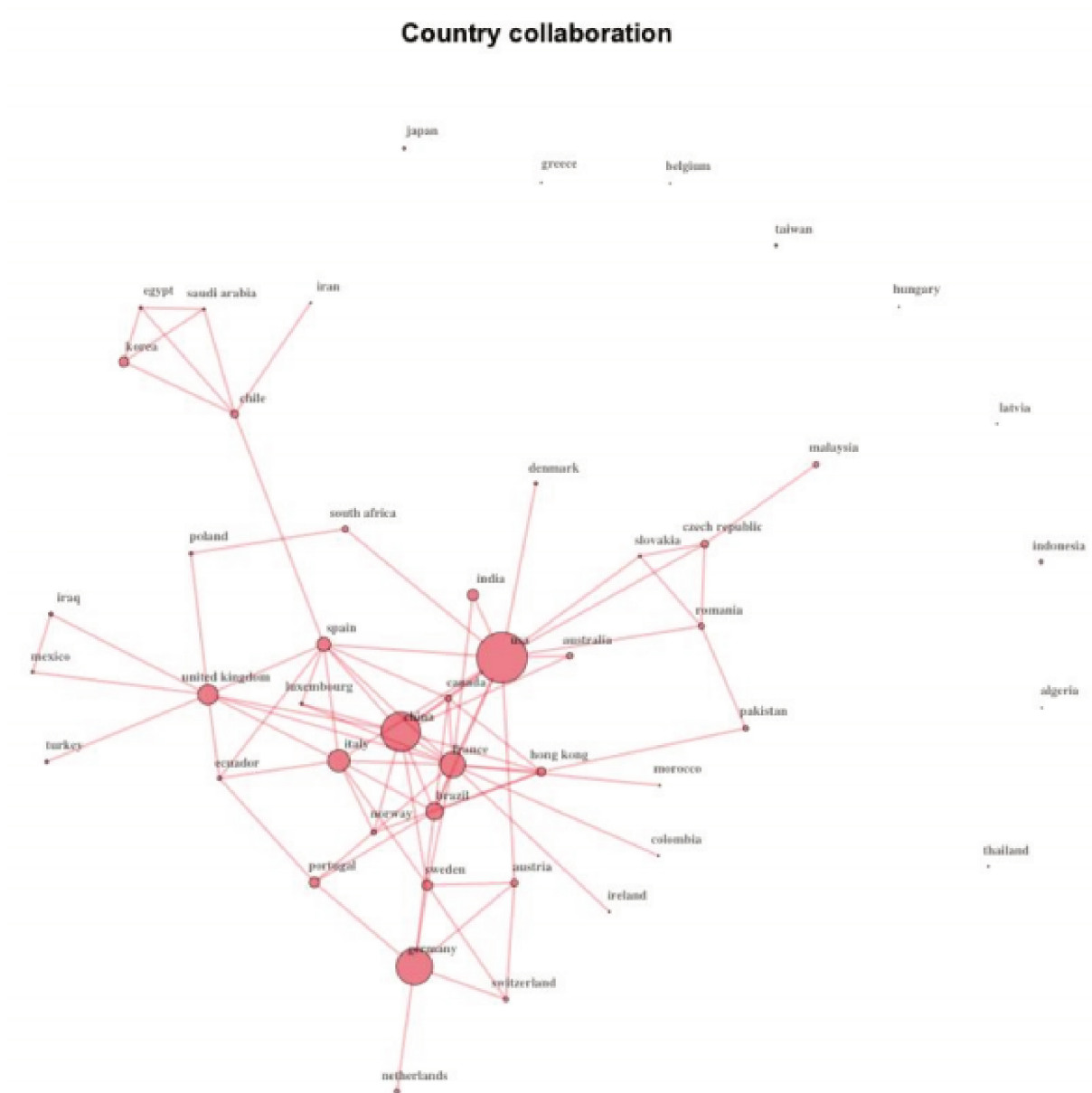


Figura 30 – Colaboração entre países.

A colaboração de pesquisas entre os países sobre as barreiras da Indústria 4.0 pode ser observada de uma outra forma na Figura 31. Nessa figura, é possível observar quais países fazem colaboração de pesquisa através do mapa dos países. Nessa figura, quanto mais escuro for o tom de azul em um país, maior é a quantidade de pesquisas que o mesmo fez. Já as linhas em vermelho representam com qual país foi feita a colaboração de pesquisa, sendo que quanto mais forte for o traço, maior é a quantidade de pesquisas em colaboração entre os países.

Pode-se observar nesse mapa, assim como na Figura 30, que os Estados Unidos, Alemanha e China são os países com mais pesquisas. Também é possível notar que os EUA fazem bastante colaboração com a China e com a Itália. O Brasil apesar de fazer colaboração com alguns outros países, são menos colaborações do que os países mencionados

anteriormente (nenhuma linha vermelha com grande destaque).

Country Collaboration Map

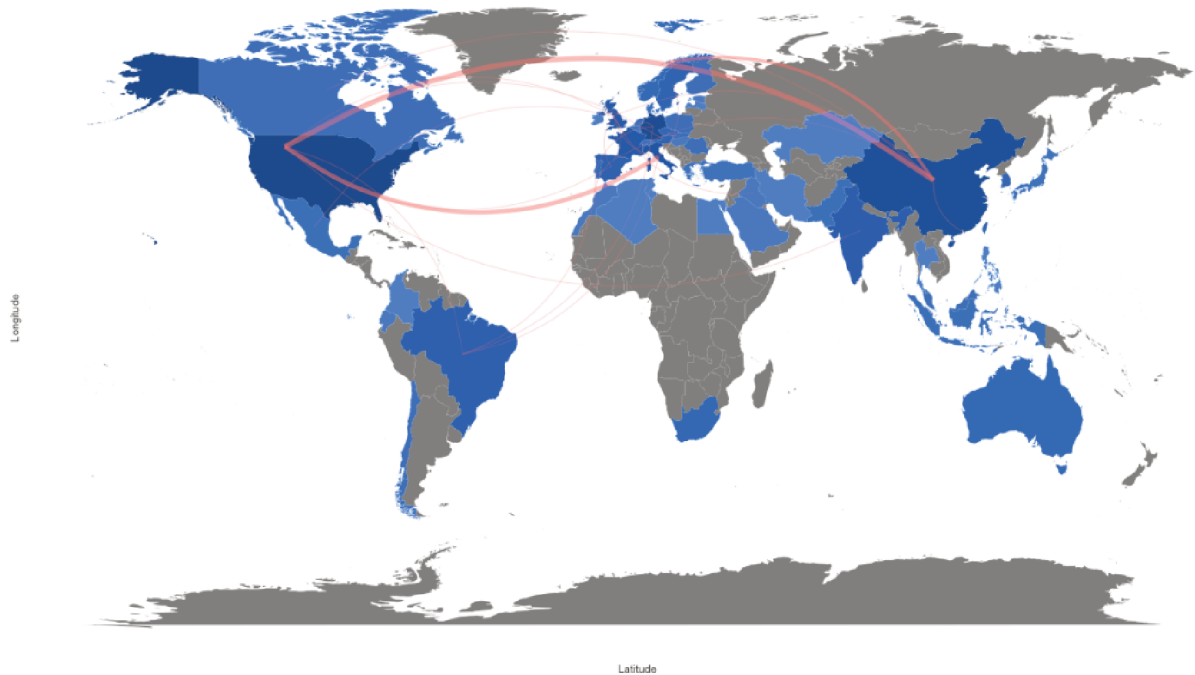


Figura 31 – Mapa de colaboração entre países.

Na Tabela 3, é possível observar quais foram as referências mais citadas, de acordo com as buscas. O artigo chamado “*Industry 4.0*” (Indústria 4.0), escrito por H. Lasi et al. (2014), é uma das referências mais citadas (14 vezes). Nesse artigo os autores mencionam que existem duas direções de desenvolvimento para atingir a Indústria 4.0. Por um lado, são necessárias mudanças sociais, econômicas e políticas. Por outro lado, apesar de diversas tecnologias estarem chegando até as indústrias, ainda é preciso dar um grande impulso tecnológico para que a indústria em geral se torne 4.0, como aumentar ainda mais a automação, digitalização e redes nesses ambientes. Também mostra que existe uma grande área de atuação para profissionais das áreas de engenharia elétrica, administração, ciência da computação, engenharia mecânica, entre outros segmentos relacionados, com destaque especial para engenharia de negócios e sistemas de informação [20].

Outra referência que também foi citada 14 vezes é o artigo “*A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*” (Uma arquitetura de sistemas cyber-físicos para a Indústria - sistemas de fabricação baseados em 4.0), escrito por Jay Lee, Behrad Bagheri e Hung-An Kao em 2015. Nesse artigo é mostrado o que são sistemas cyber-físicos, e como esses são importantes para a implantação da Indústria 4.0. Os autores mostram uma diretriz para implementar sistemas cyber-físicos nas fábricas, sendo dividida em 5 níveis, também chamados de 5C: conexão inteligente (utilização de uma rede de sensores para coletar dados), conversão de dados para informa-

ção (transformação dos dados coletados em informação útil para as máquinas), cibernético (conexão entre as máquinas, formando uma rede), cognição (compreensão de todas as informações úteis de cada máquina individualmente e em conjunto) e configuração (é dado o *feedback* do espaço cibernético para o espaço físico, ou seja, quando as máquinas são capazes de tomar decisões e atuar com base no que foi concluído no nível de cognição)[36].

Tabela 3 – Referências mais citadas.

Título	Autores	Ano	Freq.
<i>Industry 4.0</i>	Lasi et al.	2014	14
<i>A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems</i>	Lee, Bagheri e Kao	2015	14
<i>Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues</i>	Lu	2017	12
<i>Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0</i>	Stock e Seliger	2016	11
<i>How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective</i>	Brettel et al.	2014	9
<i>Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group</i>	Kagermann	2013	9
<i>Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal</i>	Liao et al.	2017	9
<i>Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics</i>	Hormann e Rüschi	2017	8
<i>Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing</i>	Sanders, Elangswaran e Wulfsberg	2016	8
<i>Industry 4.0: state of the art and future trends</i>	Xu, Xu e Li	2018	8

Outra referência que está entre as mais citadas é “***Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues***” (Indústria 4.0: Uma pesquisa sobre tecnologias, aplicações e questões abertas de pesquisa). Este artigo foi escrito por Yang Lu em 2017. Trata-se de uma revisão sistemática sobre a Indústria 4.0 entre os anos de 2011 e 2016, sendo utilizadas as bases de dados da *Web of Science* e *Google Scholar*. Nesse texto é destacado a importância dos sistemas cyber-físicos e também a interoperabilidade da Indústria 4.0. Conforme esse artigo, para conseguir ser interoperável são necessários princípios como: acessibilidade (igualdade de oportunidades para o acesso do público relacionado), multilinguismo (deve suportar várias linguagens para entrega eficaz de informações), segurança, privacidade, subsidiariedade, uso de padrões abertos, *software* de código aberto e soluções multilaterais. Também é mencionado que com o desenvolvimento e utilização de tecnologias como IoT, uma grande quantidade de dados

As palavras-chave mais frequentes nos artigos são “***Embedded Systems***” (Sistemas Embarcados) aparecendo 159 vezes, “***Industry 4 0***” (Indústria 4 0) aparecendo 109 vezes, “***Cyber Physical System***” (Sistema Cyber-Físico) com 87 aparições, “***Internet of Things***” (Internet das Coisas) aparecendo 57 vezes, “***Cyber Physical Systems CPSs***” (Sistemas Cyber-Físicos SCFs) com 53 aparições, entre outros. Esses dados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Palavras-chave mais frequentes.

Palavras-chave	Frequência
<i>Embedded Systems</i>	159
<i>Industry 4 0</i>	109
<i>Cyber Physical System</i>	87
<i>Internet of Things</i>	57
<i>Cyber Physical Systems CPSs</i>	53
<i>Cyber physical systems CPS</i>	38
<i>Decision Making</i>	27
<i>Big Data</i>	26
<i>Automation</i>	25
<i>Manufacture</i>	21

A Figura 33 também apresenta as palavras-chave mais frequentes, entretanto, nessa figura as palavras foram organizadas em um *TreeMap*, no qual o tamanho do retângulo no qual a palavra está inserida representa a sua relevância, ou seja, quanto maior a área do retângulo, mais vezes esta palavra foi utilizada como palavra-chave. Portanto, as palavras-chave com mais destaque são “***embedded systems***”, “***industry 4 0***” e “***cyber physical system***”.

A Figura 34 representa uma nuvem de palavras, ou seja, quanto maior for o tamanho da fonte, mais importância ou mais frequência tem o termo. Pode-se observar que as palavras “***industry 4.0***”, “***cyber physical system***” e “***internet of things***” têm bastante destaque.

existem 4 *clusters*: vermelho, azul, roxo e verde. No *cluster* vermelho estão temas como sistemas embarcados e sistemas cyber-físicos. No *cluster* roxo estão temas como Indústria 4.0, automação e robôs. No *cluster* azul estão Internet das Coisas e rede de sensores sem fio. Por fim, no *cluster* verde estão temas como *Big Data*, futuro e barreiras. Os traços em cinza mostram como são as ligações entre esses *clusters*. Pode-se observar que Internet das Coisas (que faz parte do *cluster* azul) está bastante relacionada com sistemas embarcados, Indústria 4.0 e em menor proporção com *Big Data*, ou seja, Internet das Coisas é um elo importante que é capaz de relacionar todos os *clusters*.

Keyword Co-occurrences

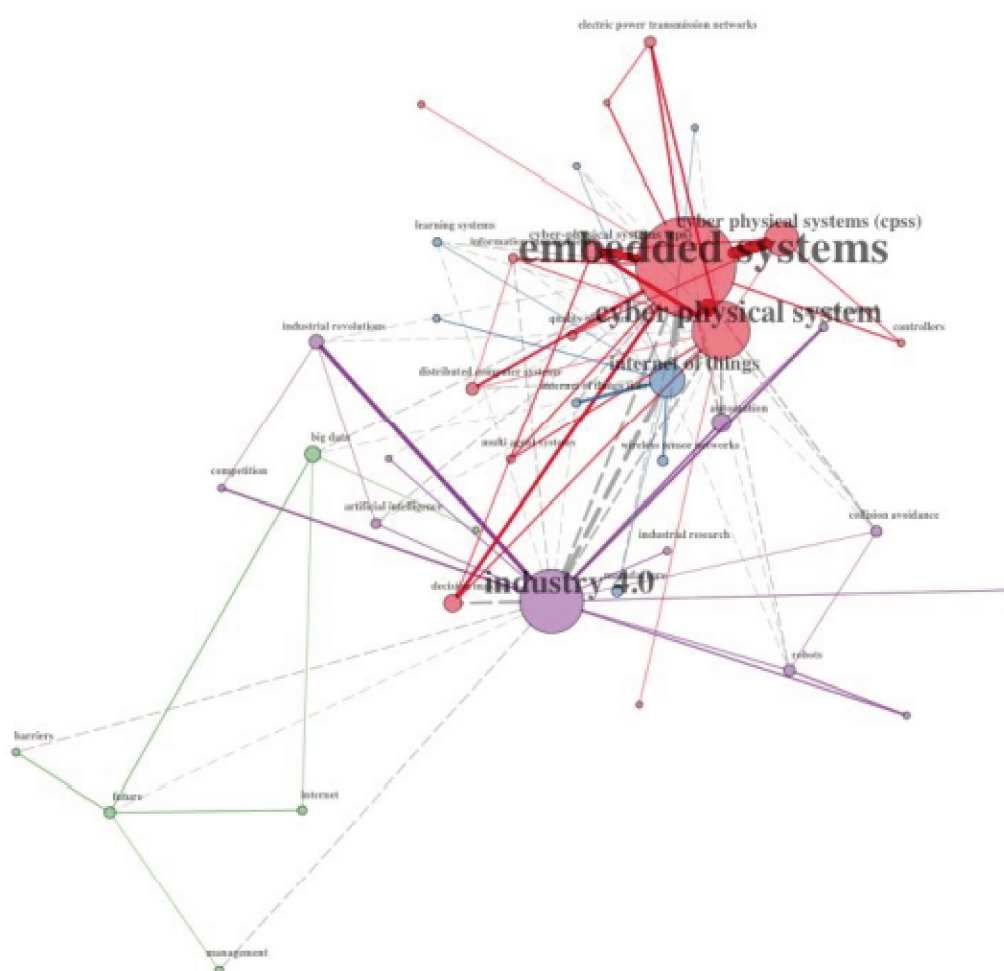


Figura 35 – Co-ocorrência de palavras-chave.

Na Tabela 5, é possível identificar quais são os temas de tendência, o ano em que ocorreu, assim como a frequência. Por exemplo, no ano de 2017 foram 159 documentos com o tema “*Embedded Systems*”, em 2019 “*Industry 4.0*” foi tema 101 vezes, e em 2018 “*Cyber Physical System*” foi tema 87 vezes. Esses termos têm bastante semelhanças

com as palavras-chave mais frequentes, tendo inclusive frequências parecidas, conforme comparação entre as Tabelas 4 e 5.

Tabela 5 – Temas de tendência.

Item	Ano	Frequência
<i>Embedded Systems</i>	2017	159
<i>Industry 4.0</i>	2019	101
<i>Cyber Physical System</i>	2018	87
<i>Internet of Things</i>	2018	57
<i>Cyber Physical Systems (CPSs)</i>	2015	53
<i>Cyber-Physical Systems (CPS)</i>	2017	38
<i>Decision Making</i>	2018	27
<i>Automation</i>	2018	22
<i>Manufacture</i>	2017	21
<i>Industrial Revolutions</i>	2018	20

A Figura 36 apresenta quais foram os temas tendência com o passar do tempo. Pode-se observar que sistemas cyber-físicos já era tema de tendência em 2010, e que a partir de 2015 é que outros temas relacionados a Indústria 4.0 são temas tendência, como sistemas embarcados (a partir de 2015) e Internet das Coisas (a partir de 2017). Ainda é possível notar nessa figura que o termo Indústria 4.0 tornou-se tema de tendência a partir de 2017.

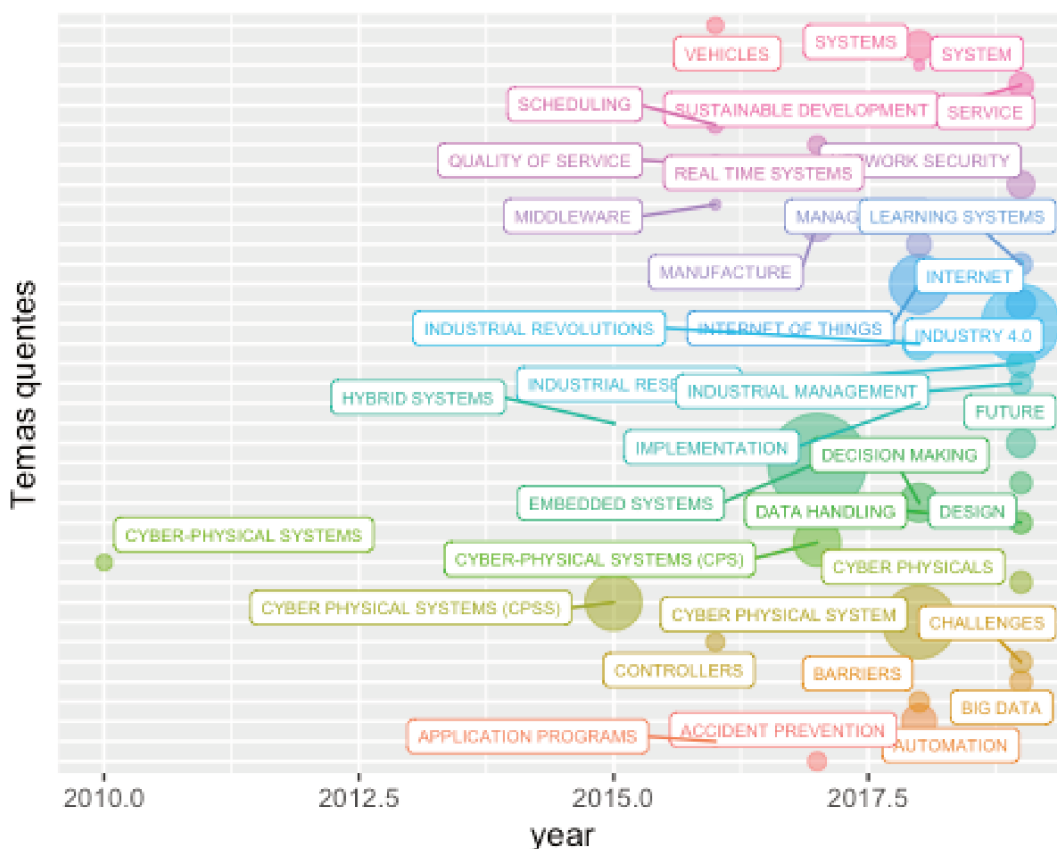


Figura 36 – Temas de tendência com o passar dos anos.

A Figura 37 apresenta uma rede histórica de citação direta, também chamada de historiograma, que mostra como o tema pesquisado foi evoluindo, indicando qual autor citou outro autor, e em que ano isso ocorreu. Nessa figura pode-se observar que existem três temas, pois existem 3 *clusters* diferenciados por cores: verde, vermelho e azul. A seguir, é mostrado do que se tratam os artigos da Figura 37, e é feita a identificação do tema de cada *cluster* dessa figura.

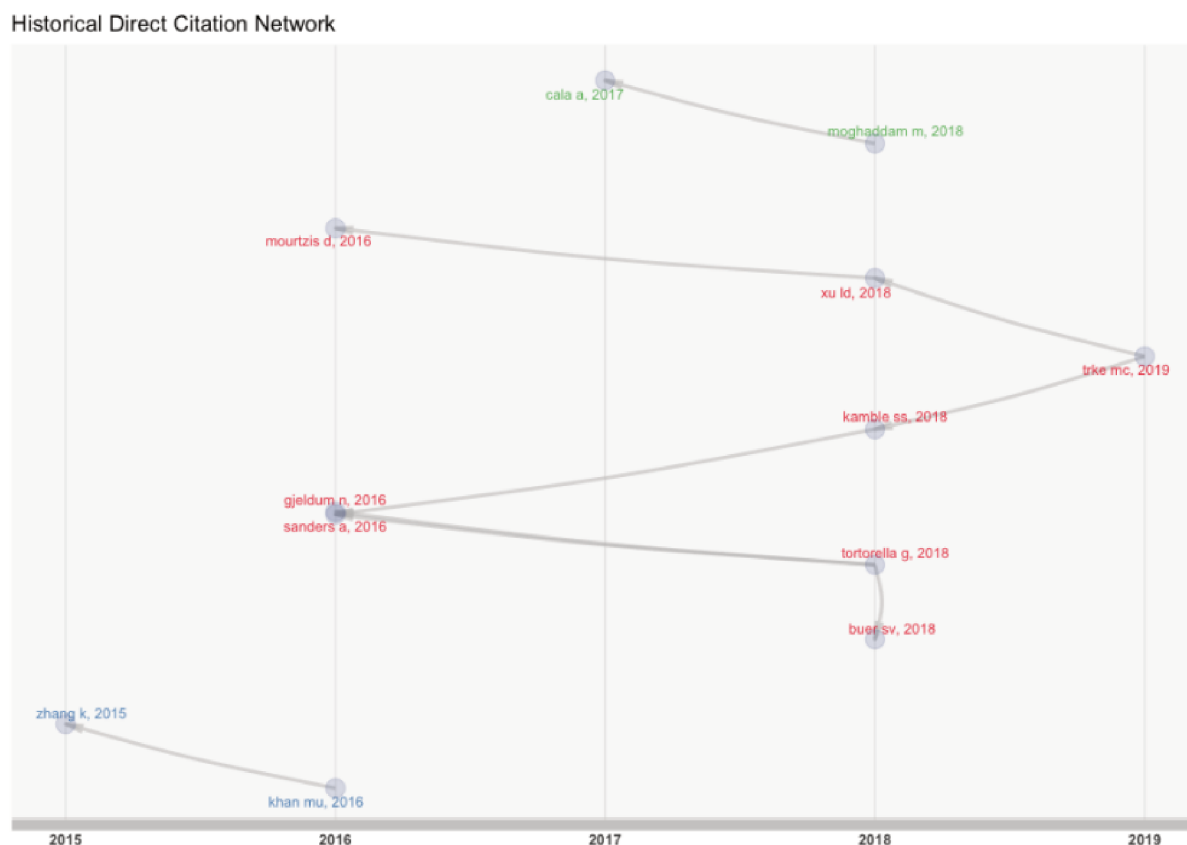


Figura 37 – Historiograma.

- *Cluster verde*

Os primeiros autores descritos do *cluster* verde são Moghaddama et al. (2018)[42]. Esses autores escreveram o artigo *Reference architectures for smart manufacturing: A critical review* (Arquiteturas de referência para a fabricação inteligente: Uma revisão crítica). Esse artigo mostra que com o desenvolvimento das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 surgiram diversos modelos e definições de implementação de uma fábrica que esteja dentro dos conceitos 4.0. Entretanto, esse artigo de Moghaddama et al. (2018)[42] “questiona a necessidade dessa ‘multiplicidade’ de definições e adota uma abordagem sistemática para retratar um ‘plano’ consistente (ou seja, uma arquitetura de referência) que racionaliza e abrange todos esses pontos de vista e propostas”. Nesse artigo são feitas perguntas para 7 especialistas na área da Indústria 4.0. Dois desses especialistas

mencionam a necessidade de desenvolver planos multigerenciais que devem ser decompostos em etapas e projetos para que a empresa possa ter um progresso incremental, dando como exemplo o artigo *Migration from Traditional towards Cyber-Physical Production Systems* (Migração dos Sistemas de Produção Tradicionais para os Sistemas Cyber-Físicos) escrito por Calà et al. (2017)[43]. No texto, Calà et al. mencionam que muitas organizações pretendem migrar seus sistemas de produção tradicionais para sistemas cyber-físicos. Entretanto, migrar de um sistema tradicional para um CPS é um trabalho complexo, fazendo com que engenheiros enfrentem vários desafios ao implementar sistemas inteligentes de automação. Segundo Calà et al. seu artigo “[...] discute o estado da arte das estratégias de migração, analisando-as e proporcionando uma primeira tentativa de definir uma abordagem de migração para sistemas de produção inovadores”. O novo método de migração de um sistema de produção tradicional para um CPS mostrado no texto é dividido em 5 fases: preparação, investigação de opções, projeto, implementação e implantação. Esse método ainda não tinha sido testado na prática, sendo essa uma etapa futura.

Esses dois artigos citados pertencem ao *cluster* verde na Figura 37. Pelo conteúdo dos artigos, é possível concluir que o tema desse *cluster* seria relacionado a metodologias de migração de uma indústria tradicional para uma indústria moderna, que atenda aos conceitos da Indústria 4.0, através da utilização de sistemas cyber-físicos. Pode-se notar nessa mesma figura que entre os três temas, esse é o mais recente, aparecendo a partir de 2017.

- *Cluster* vermelho

O artigo *Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania* (Impulsores e Barreiras no Uso da Indústria 4.0: Uma Perspectiva das PMEs na Romênia), escrito por Türkes et al. (2019)[16], mostra o resultado de uma pesquisa realizada com donos de pequenas e médias empresas da Romênia, buscando preencher uma falta de informação em relação a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 nessas empresas. Para isso, foi realizado um questionário contendo perguntas como: se a direção da empresa possui conhecimento do conceito da Indústria 4.0, se procura por parceiros de soluções para implementar essas tecnologias, quais são as tecnologias a serem implementadas pelas empresas, entre outras. Nesse texto, os autores citam o artigo *Industry 4.0: state of the art and future trends* (Indústria 4.0: estado da arte e tendências futuras). Esse segundo artigo do *cluster* vermelho, foi escrito em 2018 por Li Da Xu, Eric L. Xu e Ling Li. Os autores mostram qual é a situação de alguns países desde o lançamento da Indústria 4.0. Segundo os autores, o texto faz uma análise das pesquisas recentes sobre a Indústria 4.0 do ponto de vista industrial, mostrando aplicações industriais e destacando quais são os desafios e oportunidades de pesquisa na área[44]. Esses autores citam o artigo *Cloud-based cyber-physical systems and quality of*

services (Sistemas cyber-físicos baseados em nuvem e qualidade de serviços), que é o terceiro artigo do *cluster* vermelho. Esse artigo foi escrito por Mourtzis e Vlachou em 2016. Segundo os autores, o artigo explora a evolução, avanços e tendências da fabricação em nuvem, focando na qualidade desses serviços. Também mostra uma nova tendência dos sistemas cyber-físicos, que seriam os sistemas cyber-físicos baseados em nuvem[45].

O documento de Türkes et al. (2019), ou seja, o primeiro artigo do *cluster* vermelho, também cita o artigo ***Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry*** (Análise do poder de tendência e dependência das barreiras para adotar a indústria 4.0 na indústria de manufatura indiana), o quarto artigo do *cluster* vermelho. Segundo os autores Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19], o documento busca fazer a identificação das principais barreiras que dificultam a adoção da Indústria 4.0 na Índia, e também, fazer sugestões de como os profissionais relacionados à indústria e formuladores de políticas devem tomar as decisões e medidas para superar tais barreiras. Nesse documento é feita uma citação do artigo ***Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing*** (Indústria 4.0 Implica Manufatura Enxuta: As Atividades de Pesquisa na Indústria 4.0 Funcionam como Facilitadoras da Manufatura Enxuta), o quinto artigo desse *cluster*. Esse artigo foi escrito em 2016, por Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg. Como sugere o título, o artigo mostra que as tecnologias para a implementação da Indústria 4.0 também são capazes de facilitar a adoção da *Lean Manufacturing*. Segundo os autores, esse trabalho fez uma ligação entre essas duas áreas, e busca identificar exatamente quais pontos da Indústria 4.0 são capazes de contribuir para a *Lean Manufacturing*[46].

O sexto documento do *cluster* vermelho é o ***The mediating effect of employees' involvement on the relationship between Industry 4.0 and operational performance improvement*** (O efeito mediador do envolvimento dos funcionários na relação entre a Indústria 4.0 e a melhoria do desempenho operacional), escrito por Guilherme Tortorella et al. (2018)[47]. Nesse artigo foi realizada uma pesquisa em 147 fábricas brasileiras que já começaram a implementar tecnologias da Indústria 4.0 em suas empresas, simultaneamente com programas de melhoria contínua, que possuem grande relação com o envolvimento dos funcionários em seus trabalhos. Segundo os autores, o objetivo desse estudo era investigar se o envolvimento dos funcionários forma um elo mediador para relacionar as tecnologias da Indústria 4.0 com a melhoria do desempenho operacional nos países emergentes. Esses autores citam o quinto documento do *cluster* vermelho, artigo escrito por Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg. Também citam o artigo de Gjeldum, Mladineo e Veza (2016)[48], chamado de ***Transfer of Model of Innovative Smart Factory to Croatian Economy using Lean Learning Factory*** (Transferência do Modelo de Fábrica Inteligente Inovadora para a Economia Croata utilizando a Fábrica de Aprendizagem *Lean*), o qual retrata qual é a atual condição da indústria de manu-

fatura da Croácia. Segundo o texto, o país ainda está distante da Indústria 4.0, e para tentar melhorar isso, mostra um projeto chamado *Innovative Smart Enterprise* (Empresa Inteligente Inovadora), no qual possui um ambiente de aprendizagem com duas linhas de montagem: uma tradicional e uma inteligente. Nesse ambiente, que podia ser utilizado tanto por estudantes quanto por funcionários de empresas, foi possível notar a diferença nas duas linhas de produção. Os autores sugerem que os profissionais adotem em suas empresas uma linha de produção híbrida, que tentaria trazer as tecnologias de uma fábrica inteligente, mas sem ter grande custo de implementação para os empresários. Além disso, o texto de Tortorella et al. (2016) também cita outro artigo: ***The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda*** (A ligação entre a Indústria 4.0 e a manufatura enxuta: mapeamento das pesquisas atuais e estabelecimento de uma agenda de pesquisas), escrito por Buer, Strandhagen e Chan (2018)[49]. Nesse artigo é feita uma pesquisa sistemática de revisão de literatura para descobrir qual é a relação entre a Indústria 4.0 e a *Lean Manufacturing*, identificando quatro linhas de pesquisa principais sobre a ligação entre esses dois temas, fazendo uma agenda para pesquisas futuras.

Assim, pode-se concluir que o *cluster* vermelho é composto por artigos que tratam de pesquisas realizadas em indústrias que já começaram a adotar as tecnologias da Indústria 4.0, trazendo quais são as principais barreiras que dificultam essa adoção, principalmente em países em desenvolvimento, como a Romênia, Índia e Brasil. Em alguns artigos também mostra qual é a relação da Indústria 4.0 com *Lean Manufacturing* e a relação do envolvimento dos funcionários em suas funções com as tecnologias da Quarta Revolução Industrial, levando a um bom desempenho das indústrias.

- ***Cluster azul***

O primeiro artigo do *cluster* azul analisado é ***CPS Oriented Control Design for Networked Surveillance Robots With Multiple Physical Constraints*** (Projeto de Controle Orientado a CPS para Robôs de Vigilância em Rede com Múltiplas Restrições Físicas), escrito em 2016 por Khan, Wang e Shao. Segundo os autores: “Este trabalho apresenta o modelo de interação cyber-física para realizar o controle e rastreamento da formação na presença de outros robôs e obstáculos estáticos” (KHAN; WANG; SHAO, 2016)[50]. Os autores desse documento afirmam que os sistemas cyber-físicos têm mostrado benefícios para sistemas como veículos aéreos não tripulados, e também, veículos terrestres não tripulados, citando alguns documentos, entre esses, o artigo ***A Hybrid Model Predictive Controller for Path Planning and Path Following*** (Um Controlador Preditivo de Modelo Híbrido para Planejamento de Caminhos e Seguimento de Caminhos), escrito por Zhang, Sprinkle e Sanfelice, em 2015. Segundo os autores, métodos não-lineares para prever modelos de planejamento e acompanhamento de caminhos são vantajosos, pois são capazes de evitar obstáculos, selecionar e acompanhar trajetórias

viáveis, e ao mesmo tempo obedecer a restrições de entradas de controle e valores de estado. Porém, isso implica em abordagens computacionalmente intensivas, e o resultado pode não ser encontrado em um tempo delimitado. Assim, os autores afirmam que essa pode ser uma aplicação interessante para sistemas cyber-físicos, pela sua dependência de cálculo para realizar um controle complexo[51].

Pelo o que pode ser observado nesses dois artigos, o tema do *cluster* azul é relacionado a utilização de sistemas cyber-físicos para realizar cálculos relacionados a sistemas de controle. Esse *cluster* possui o artigo mais antigo que aparece na Figura 37, sendo publicado em 2015.

A Figura 38 representa alguns temas a respeito da Indústria 4.0, mas distribuídos conforme um mapa temático, que também é conhecido como diagrama estratégico. O eixo horizontal representa a centralidade e o vertical representa a densidade. Quanto maior for a centralidade de um tema, mais fortes são considerados os laços externos com outros temas. Já a densidade mostra quanto é a força dos laços internos entre as palavras-chave que compõem um tema de pesquisa (CALLON; COURTIAL; LAVILLE, 1991; CAHLIK, 2000)[52][53].

O mapa temático é dividido em 4 quadrantes, sendo estes:

- Quadrante superior direito: temas considerados motores, bem desenvolvidos e importantes, com alta centralidade e densidade;
- Quadrante superior esquerdo: temas com alta densidade, portanto, laços internos bem desenvolvidos, mas com laços externos sem importância, pela baixa centralidade;
- Quadrante inferior esquerdo: temas com baixa centralidade e densidade, considerados pouco desenvolvidos;
- Quadrante inferior direito: temas que estão se tornando centrais e maduros, que apesar da sua importância, ainda não se desenvolveram.

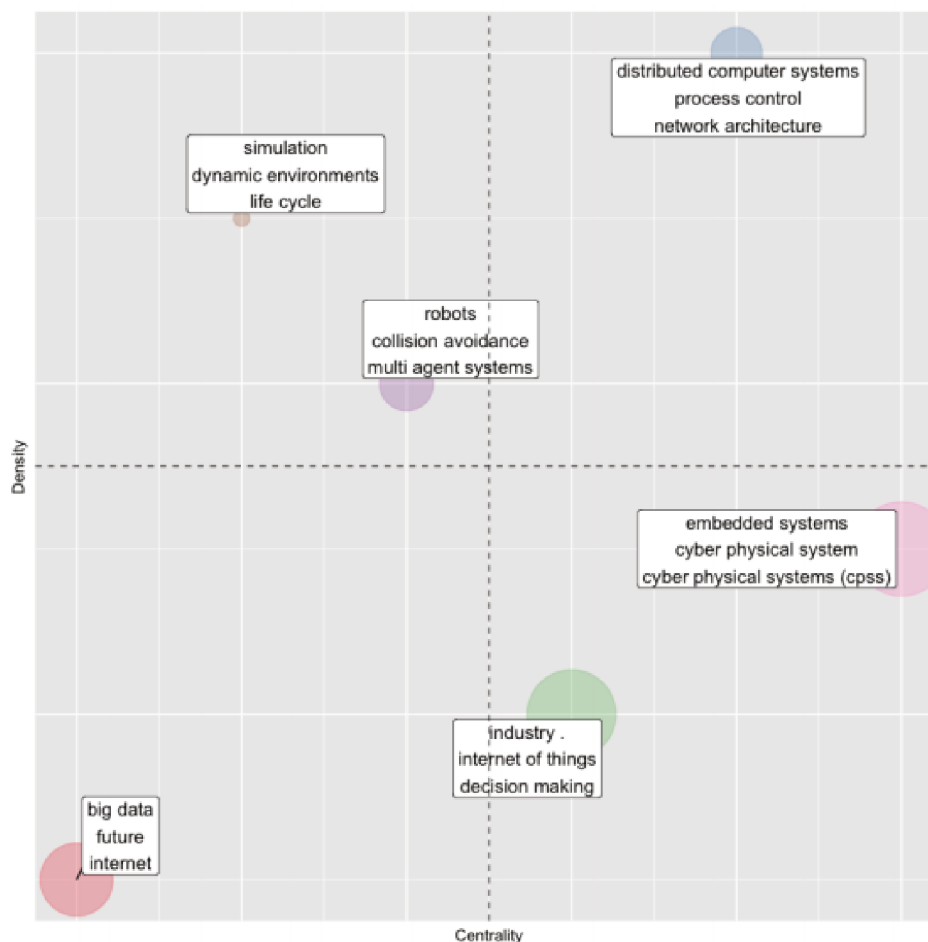


Figura 38 – Mapa temático.

Portanto, na Figura 38, tem-se a seguinte situação: no quadrante superior direito, tem-se os termos *“distributed computer systems”* (sistemas de computação distribuídos), *“process control”* (controle de processos) e *“network architecture”* (arquitetura de rede), ou seja, esses termos são de alta densidade e centralidade, o que significa que são considerados temas motores, importantes e bem desenvolvidos.

No quadrante superior esquerdo encontram-se os termos *“simulation”* (simulação), *“dynamic environments”* (ambientes dinâmicos) e *“life cycle”* (ciclo de vida), que são termos que possuem baixa centralidade e alta densidade, portanto, possuem laços internos bem desenvolvidos, mas com laços externos sem importância. Também se encontram nesse quadrante, os termos: *“robots”* (robôs), *“collision avoidance”* (prevenção de colisão) e *“multi agent systems”* (sistemas multi-agente).

Já no quadrante inferior esquerdo estão situados os termos *“Big Data”*, *“future”* (futuro) e *“internet”*, que possuem baixa densidade e centralidade, por isso, são considerados temas emergentes ou pouco desenvolvidos.

Por fim, no quadrante inferior direito encontram-se os termos *“embedded systems”* (sistemas embarcados), *“cyber physical system”* (sistema cyber-físico) e *“cyber physical systems (CPSs)”* (sistemas cyber-físicos), que conforme o diagrama estratégico,

são considerados temas que estão se tornando centrais e maduros, que apesar da sua importância, ainda não se desenvolveram. Também se encontram nesse quadrante, os termos: "**industry**" (indústria), "**internet of things**" (Internet das Coisas) e "**decision make**" (tomada de decisão).

A Figura 39 mostra uma análise de correspondência múltipla de dados das palavras-chave (método MCA), que tem como objetivo desenhar um mapa conceitual da estrutura do campo. A análise de *cluster K-means* foi usada para agrupar os conceitos comuns. Dessa forma, as palavras foram agrupadas com base em sua homogeneidade: quanto mais próximos estiverem na distribuição, mais semelhantes são essas palavras.

Assim pode-se observar o agrupamento de cinco *clusters* representados pelas cores roxo, vermelho, laranja, azul e verde.

As palavras "**cyber physical systems cps**" (sistemas cyber-físicos CPS) e "**cyber physical systems cpss**" (sistemas cyber-físicos CPSs) formam o *cluster* roxo.

O *cluster* vermelho é formado pelas palavras "**embedded systems**" (sistemas embarcados), "**distributed computer systems**" (sistemas de computação distribuídos), "**manufacture**" (fabricação), "**automation**" (automação) e "**cyber physical system**" (sistema cyber-físico).

Já o *cluster* laranja é formado por "**decision making**" (tomada de decisão), "**internet of things**" (Internet das Coisas), "**robots**" (robôs) e "**collision avoidance**" (prevenção de colisão).

As palavras "**industry 4.0**" (Indústria 4.0) e "**industrial revolutions**" (revoluções industriais) formam o *cluster* azul.

Por fim, o *cluster* verde é formado por "**Big Data**", "**future**" (futuro), "**systems**" (sistemas), "**barriers**" (barreiras) e "**management**" (gestão) e "**internet**".



Figura 39 – Mapa conceitual da estrutura do campo.

A Figura 40 mostra o Dendrograma que se deriva da análise anterior (método MCA), e mostra as categorias das palavras-chave. Pode-se observar que existem cinco *clusters* representados pelas cores laranja, roxo, verde, azul e vermelho. Esses estão separados em três categorias de análises, sendo estas: 1) Sistemas e Barreiras; 2) Cyber-Físico e Manufatura; 3) Indústria e Automação.

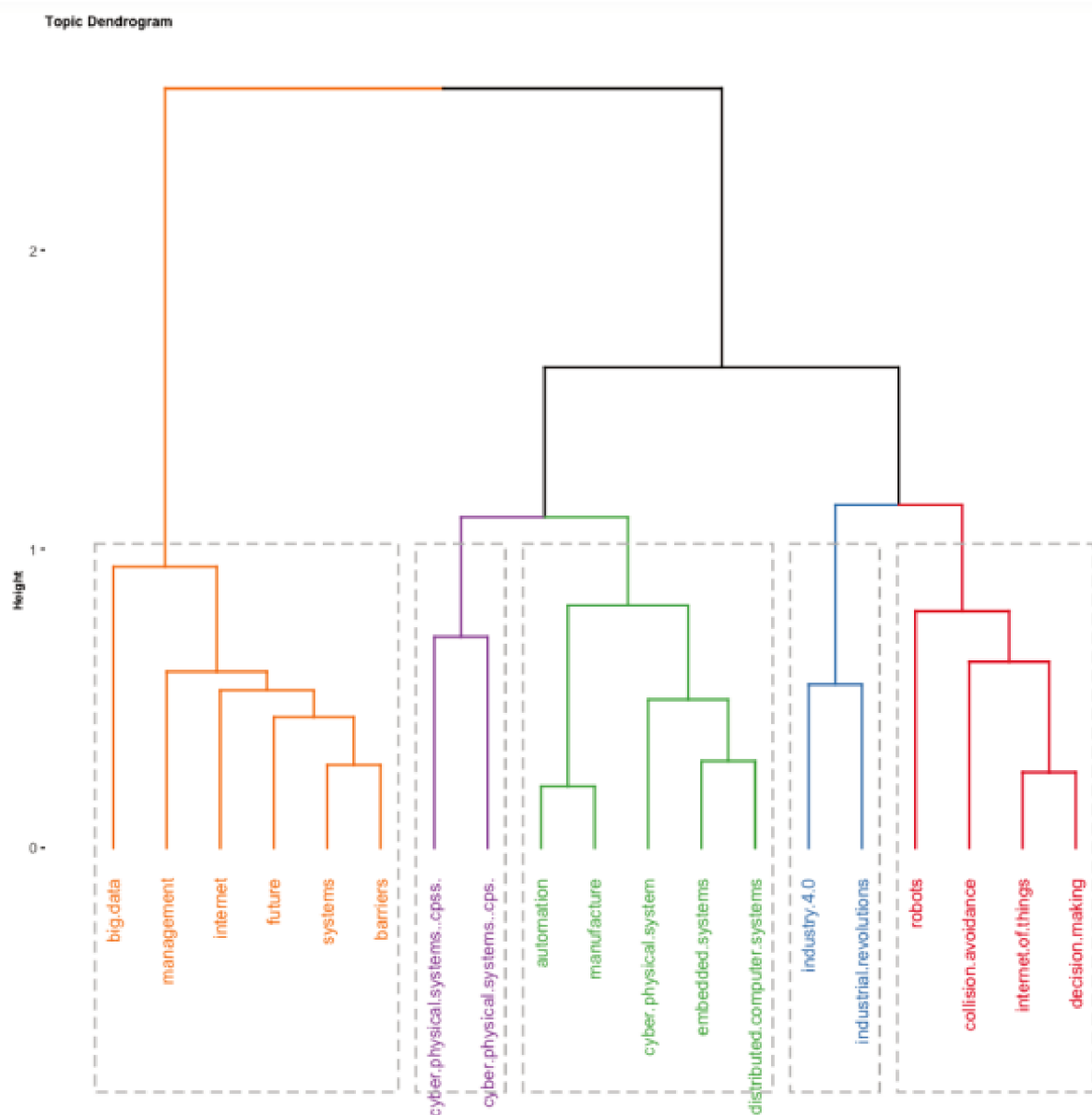


Figura 40 – Dendrograma.

Nessa pesquisa, o foco então está no *cluster* laranja, na categoria do item 1 de Sistemas e Barreiras. No qual quer se entender quais são as barreiras e obstáculos para implementação da Indústria 4.0 nas empresas. Para maior compreensão e entendimento dessas questões o próximo item traz maiores detalhamentos.

4.3 Análise Sistêmica

A análise de conteúdo é a quarta e última etapa do método SYSMAP. Nessa etapa, é criada uma amostra de conteúdo com documentos que terão seus conteúdos analisados, e assim, possibilitando a identificação de lacunas de pesquisa sobre o tema.

Segundo Vaz e Uriona Maldonado (2017)[10], nessa etapa do método SYSMAP deve-se primeiramente formular uma pergunta de pesquisa, de acordo com o tema que o pesquisador deseja investigar. Assim, para esse trabalho foi elaborada a seguinte pergunta:

"Quais as barreiras ou obstáculos para a implantação da Indústria 4.0 nas empresas?"

Com base nessa pergunta, dos 149 documentos disponíveis, apenas 17 documentos pareciam estar alinhados com o tema, com base nas leituras dos títulos e resumos. Ao realizar a leitura desses documentos, foi verificado que 2 artigos, apesar de estarem relacionados à Indústria 4.0, não tratavam de barreiras para sua implementação, mas sim de maneiras de evitar que robôs ou AGV (*Automatic Guided Vehicle*) não colidam com barreiras físicas nos ambientes em que estiverem inseridos. Assim, restaram 15 documentos. Destes 15 documentos, 5 também não estavam alinhados ao tema de pesquisa, pois também não abordavam as barreiras para a implementação da Indústria 4.0, resultando em 10 documentos na amostra.

Nessa etapa do método SYSMAP, é permitido que o pesquisador adicione mais artigos na sua amostra de documentos, caso necessário. Assim, como na descrição da rede histórica de citação direta ou historiograma (Figura 37) tinha sido realizada a leitura de 12 artigos, foi constatado que 3 desses estavam alinhados com o tema. Porém, 2 desses artigos já estavam entre os selecionados anteriormente. Portanto, 1 artigo pôde ser acrescentado na amostra, resultando em 11 documentos para a Análise de Conteúdo. A relação desses 11 documentos analisados está disponível no ANEXO A.

Os artigos analisados nessa etapa fizeram uso de diferentes metodologias, alguns foram realizados através de revisão de literatura, outros fizeram estudos de casos, através de entrevistas com especialistas na área e também com funcionários de algumas empresas, outros utilizaram os dois tipos de metodologia em conjunto. Assim, pode-se ter uma visão tanto teórica quanto empírica das barreiras para a implementação da Indústria 4.0.

Além disso, os trabalhos foram realizados em diferentes países como Alemanha, Áustria, China, Coreia, França, Holanda, Hungria, Índia, Reino Unido e Romênia, ou seja, foi feita pesquisa tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento, o que contribui para uma visão mais ampla sobre as barreiras para a Quarta Revolução Industrial.

4.3.1 Barreiras para Implementação da Indústria 4.0 nas Empresas

A implementação das tecnologias relacionadas à Quarta Revolução Industrial ainda traz muitos desafios para grande parte das empresas, tanto em países desenvolvidos, quanto em países em desenvolvimento. Segundo Horváth e Szabó (2019)[15]: "A Quarta Revolução Industrial apresenta desafios significativos para as empresas fabricantes, do ponto de vista tecnológico, organizacional e gerencial". Ainda segundo os autores, fatores

relacionados a resistência organizacional, tanto dos funcionários quanto da gerência média podem dificultar a introdução das tecnologias da Indústria 4.0 em empresas.

No caso dos países em desenvolvimento, melhorias na regulamentação e nos padrões feitos pelos governos poderiam facilitar a adoção das tecnologias da Indústria 4.0. Já no caso dos países considerados desenvolvidos, seriam necessárias melhorias na infraestrutura tecnológica, conforme Raj et al. (2019)[54].

Segundo Müller (2019)[55]: “[...] aspectos econômicos, e especialmente ecológicos e sociais, têm sido considerados menos, mas são de grande importância, uma vez que as preocupações sociais dificultam a implementação da Indústria 4.0”.

Portanto, pode-se notar que existem questões a serem resolvidas em várias áreas para realizar a implantação das tecnologias da Quarta Revolução Industrial nas empresas. As principais barreiras podem ser divididas entre os seguintes grupos: tecnológicas, gerenciais, trabalhadores, financeiras, legais e política, entre outras.

4.3.1.1 Barreiras Tecnológicas

- **Falta de segurança e privacidade**

A segurança cibernética é um dos maiores obstáculos para a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 no setor de saúde indiano, segundo os autores Ajmera e Jain (2019)[21]. Uma grande quantidade de dados e informações confidenciais seriam disponibilizados em nuvem, e a violação desses dados pode ser um grande risco nesse setor. Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19] também concordam que questões de segurança e privacidade são obstáculos para a implementação da Indústria 4.0 no setor de manufatura indiano.

Numa pesquisa feita por Müller (2019)[55] com empregados de uma fábrica na Alemanha, chegou-se à conclusão de que acesso de dados e proteção são fatores muito importantes para a implementação da Indústria 4.0, e garantir que os dados fiquem protegidos é uma barreira muito importante a ser superada. Em relação à segurança dos dados, a principal preocupação dos funcionários entrevistados foi que pessoas de fora possam adquirir conhecimento interno. Os entrevistados também apontaram medo de ataques a esses dados.

Singh e Bhanot (2019)[56] afirmam que a questão da segurança cibernética é a barreira mais significativa que dificulta a adoção da IoT no setor de manufatura, pois essa barreira liga todas as outras barreiras críticas encontradas pelos autores. Além disso, devido à grande quantidade de dispositivos que devem ser conectados com a IoT, e também à grande variedade de dados, a tarefa de garantir a segurança dos sistemas torna-se mais difícil. Em relação à rede, os autores afirmam: “[...] é preciso garantir que os dados captados e transmitidos permaneçam confidenciais, permaneçam intactos e sejam acessados pelos dispositivos autorizados” (SINGH; BHANOT, 2019)[56].

Os autores Xu, Xu e Li (2018)[44] também apontaram a segurança da informação e proteção da privacidade como obstáculos importantes para a implementação das tecnologias da Indústria 4.0.

- **Falta de infraestrutura**

Os autores Kamble et al. (2019)[57], destacam a falta de infraestrutura de internet como uma das principais barreiras que devem ter atenção dos profissionais da cadeia de abastecimento do varejo de alimentos.

Uma avançada estrutura de TI é necessária para a implementação da Internet das Coisas. Uma rede de comunicação ineficiente e com sinal fraco dificultariam a disponibilização contínua de dados, o que é muito importante segundo os autores Ajmera e Jain (2019)[21]. Também é preciso garantir um bom sistema de *backup* de dados. Além disso, esses autores destacam que uma das barreiras seria conseguir suporte e manutenção adequados para o sistema, que sempre precisariam estar disponíveis em setores vitais como é o caso da saúde.

No artigo de Xu, Xu e Li (2018)[44], é mostrado que a falta de infraestrutura de TIC é uma barreira para a Indústria 4.0. Além disso, com um grande aumento de objetos conectados à rede, um desafio a ser superado é a escalabilidade.

Já os autores Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19], apontam a falta de cobertura de internet como uma das barreiras a serem enfrentadas na indústria de manufatura indiana para a implementação da Quarta Revolução Industrial.

Segundo Müller (2019)[55], um dos pilares da Indústria 4.0 é a coleta e análise de dados. Entretanto, os entrevistados de sua pesquisa, realizada em uma fábrica alemã, afirmaram que é difícil obter dados utilizáveis, e as principais razões para isso são a falta de sensores e interfaces, e também, a idade das máquinas utilizadas.

Numa pesquisa sobre a implementação da Indústria 4.0 na Índia e na França, Raj et al. (2019)[54] concluíram que o baixo nível de maturidade da tecnologia desejada é o fator com maior influência para dificultar a adoção da Quarta Revolução Industrial na França.

Um desafio mostrado por Xu, Xu e Li (2018)[44] é a dificuldade de processar uma quantidade grande de dados coletados por um elevado número de dispositivos e de forma eficiente com as redes de IoT

- **Falta de padronização**

Ajmera e Jain (2019)[21] mencionam a falta de padrões para a troca de informações como outra barreira a ser enfrentada. Como cada organização utiliza um padrão diferente, a troca de informações entre organizações seria dificultada. Esses autores também mencionam que em um país em desenvolvimento, como é o caso da Índia, muitos equipamentos são importados, levando a problemas de compatibilidade de *software*. A falta de padrões tecnológicos também é uma barreira mencionada por Horváth e Szabó (2019)[15].

Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19] apontam como obstáculos para a adoção da Indústria 4.0 no setor de manufatura indiano a falta de padrões e arquitetura de referência, questões de integração e compatibilidade.

Singh e Bhanot (2019)[56] afirmam que uma barreira crítica encontrada é o gerenciamento de diferentes dispositivos, sem uma padronização. Em relação a isso os autores afirmam: “Um *software* comum é necessário para a interoperabilidade de diferentes dispositivos na mesma rede. A má interoperabilidade dificulta a inovação e reduz o valor econômico do sistema” (SINGH; BHANOT, 2019)[56]. Os autores também mencionam que muitos fabricantes fazem com que seus produtos só tenham compatibilidade com dispositivos dentro de uma mesma linha de produtos da marca.

Stoltz et al. (2017)[58] fizeram um estudo de caso sobre a utilização de Realidade Aumentada em um armazém. Para isso, os funcionários testaram o uso do Google *Glass* no seu ambiente de trabalho. Uma das reclamações feitas pelos usuários foi a falta de padronização em relação a ambiente e linguagem de programação em relação a esse tipo de dispositivo.

No artigo de Xu, Xu e Li (2018)[44], um desafio apontado é a construção de aplicações capazes de integrar grandes quantidades de dados de diferentes fontes. Segundo os autores, a falta de padronização é um dos obstáculos para a implementação da Indústria 4.0 de forma bem sucedida.

Türkes et al. (2019)[16] realizaram uma pesquisa sobre as pequenas e médias empresas na Romênia, e também afirmam que a falta de padrões é uma barreira enfrentada por essas empresas.

• Questões operacionais

No estudo feito por Stoltz et al. (2017)[58] a respeito da utilização da Realidade Aumentada em armazéns, utilizando o Google *Glass*, foram encontradas diversas barreiras para sua utilização. Entre as barreiras encontradas estavam: o dispositivo demonstrou ser mais lento e menos confiável do que *scanners* comerciais e câmeras de *smartphones* para a digitalização de códigos de barra e *QR codes*, a bateria não foi suficiente para cobrir a jornada de trabalho, o processador superaqueceu e diminuiu a sua velocidade após longos períodos de uso ou quando era executada uma tarefa mais complexa, o dispositivo não era muito confortável para longos períodos de uso contínuo, a latência da tela pode causar dor de cabeça, o fato da visão não ser central cria cansaço nos olhos, algumas tarefas tornaram-se mais lentas usando o dispositivo (exemplo: verificação de vários itens recebidos). Outras questões observadas foram que as interfaces nem sempre são simples e intuitivas e as telas não se adaptam automaticamente às alterações de luz nos ambientes.

4.3.1.2 Barreiras Gerenciais

No caso da implantação de tecnologias no setor de saúde indiano, alguns hospitais não têm uma infraestrutura de TI própria, e segundo Ajmera e Jain (2019)[21], isso é devido às dificuldades dos gestores em utilizar tecnologias de TI e também em encontrar uma solução precisa. Os autores também mencionam que com custos elevados para desenvolver e manter uma infraestrutura adequada para a implementação das tecnologias da Indústria 4.0, muitas vezes essa implementação não tem o apoio da gestão, resultando em uma implementação que não será bem sucedida. Além disso, como a indústria da saúde indiana na maioria das vezes não é padronizada, torna-se difícil para os gestores formarem uma visão geral do sistema. Por fim, com base em entrevistas com especialistas no assunto, os autores afirmam que: “a falta de suporte de alta gerência é a maior barreira para o sucesso da adoção do *Health 4.0* na indústria de saúde indiana” (AJEMRA; JAIN, 2019)[21].

Em um estudo sobre a implementação da Indústria 4.0 no setor de manufatura na Índia, Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19] mostram que desordens laborais, mudanças organizacionais e de processos são barreiras para a implementação das tecnologias da Quarta Revolução Industrial. Também apontam a falta de sistemas de gestão do conhecimento como outro desafio a ser enfrentado.

Segundo Kamble et al. (2019)[57] o setor de fornecimento de varejo de alimentos na Índia é constituído por várias partes interessadas, e que para a implementação da IoT de forma bem sucedida é necessário que essas partes estejam alinhadas com um objetivo comum. Este alinhamento de objetivo é visto como um obstáculo pelos autores, pois a maioria das partes interessadas tem seus próprios sistemas e procedimentos, baseados em diferentes plataformas e métodos.

Para Horváth e Szabó (2019)[15], a realidade gerencial das empresas é uma barreira. Segundo os autores: “Como os processos produtivos são digitalizados, as empresas precisam de um líder com as habilidades e experiência necessárias para controlar os projetos da Indústria 4.0” (HORVÁTH; SZABÓ, 2019)[15]. Um elemento novo identificado por esses autores entre as barreiras da implementação das tecnologias da Quarta Revolução Industrial é: “[...] a falta de disposição da rede para cooperar e integrar tecnologias no nível da cadeia de suprimentos – um dos elementos-chave da indústria 4.0 - pode dificultar significativamente a integração e implementação dessas tecnologias” (HORVÁTH; SZABÓ, 2019)[15].

Ao fazer uma pesquisa com trabalhadores de uma fábrica alemã, Müller (2019)[55] descobriu que uma das principais barreiras apontadas pelos funcionários é a falta de cooperação entre departamentos, o que deve ser um ponto a ser observado pelas gerências. Além disso, os entrevistados também apontaram a falta de estratégia e implementação como uma preocupação.

Raj et al. (2019)[54] fizeram um estudo sobre a implementação da Indústria 4.0

na Índia e na França, e chegaram à conclusão de que nos dois países um dos maiores fatores que impede a adoção eficiente da Indústria 4.0 é a falta de uma estratégia digital. Para os autores: “[...] gestores devem planejar estrategicamente para orientar as ações das empresas e investir em recursos que ajudem na transição para a Indústria 4.0. O Combate à causa raiz das barreiras à Indústria 4.0 permitirá que as empresas prosperem na revolução digital” (RAJ et al., 2019)[54].

4.3.1.3 Barreiras Impostas pelos Trabalhadores

- **Medo de perder o emprego**

Com base em uma pesquisa feita na Índia sobre as barreiras da implementação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor de saúde (movimento conhecido como Saúde 4.0), os autores afirmam que: "As tecnologias automatizadas e robóticas desempenham um papel importante na Saúde 4.0. Mas isto leva à substituição dos funcionários por estas tecnologias automatizadas que resultam em perda de empregos humanos" (AJMERA; JAIN, 2019)[21], portanto, o medo dos trabalhadores perderem seus empregos é uma das barreiras a serem enfrentadas para a implantação da Indústria 4.0.

Os autores Horváth e Szabó (2019)[15] apontam que um dos motivos para esse medo entre parte dos funcionários de perder o emprego é por esses ainda não possuírem habilidades para lidar com novas tecnologias.

- **Resistência a aceitar, compreender e utilizar novas tecnologias**

Segundo Choi et al. (2015)[59], muitos funcionários têm sua forma de trabalho baseada em experiência e métodos próprios, e muitas vezes sem a utilização de *software*, o que gera uma resistência à introdução de novos sistemas de *softwares* para esses trabalhadores. Ainda segundo os autores, muitas vezes essa resistência é maior em engenheiros do que nos gestores.

Para Horváth e Szabó (2019)[15], a resistência organizacional pode ser encontrada tanto em funcionários de nível inferior até gerentes médios. Essa resistência pode estar relacionada a interesses contraditórios entre unidades organizacionais, medo do desconhecido e também falta de compreensão das novas tecnologias.

Na pesquisa feita por Müller (2019)[55] em uma fábrica alemã para saber quais eram as barreiras para implementar a Indústria 4.0 do ponto de vista dos trabalhadores, foram entrevistados 41 trabalhadores. O item mais votado como barreira para a implementação da Indústria 4.0, recebendo 20 votos, foi a aceitação dos funcionários. Os funcionários também apontaram que sentem medo de serem monitorados pela grande quantidade de dados e informações que podem ser coletadas com as tecnologias da Indústria 4.0.

No estudo realizado por Stoltz et al. (2017)[58], foram apontadas barreiras para a utilização da realidade aumentada em um armazém, através da utilização de Google

Glass. Entre as barreiras estavam questões relacionadas a aceitação dos funcionários, como: alguns não estão dispostos a utilizar um dispositivo com câmera e microfone em todos os momentos (pensando em sua privacidade), e também o pelo fato do dispositivo poder capturar fotos e vídeos de operações e outras informações.

- **Falta de conhecimento e qualificação**

A falta de trabalhadores qualificados com as competências necessárias é um grande desafio para a implementação das tecnologias da Indústria 4.0, segundo Horváth e Szabó (2019)[15]. Kamble et al. (2019)[57] também afirmam que a falta de habilidades humanas é um dos fatores que precisam de grande atenção por parte dos profissionais das cadeias de abastecimento do varejo de alimentos.

Em um estudo sobre a implementação da Indústria 4.0 no setor de manufatura na Índia, Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19] afirmam que a necessidade de habilidades avançadas é um dos problemas para a Indústria 4.0. Na pesquisa feita por Müller (2019)[55], chegou-se à conclusão que existe uma falta de habilidades adequadas para lidar com as novas tecnologias, por exemplo, para compreender os *softwares* ou habilidades em mineração de dados.

Os autores Singh e Bhanot (2019)[56] concluíram que a necessidade de talento e experiência é uma das principais barreiras que dificultam a adoção da Internet das Coisas no setor de manufatura, ou seja, os funcionários ainda não possuem a qualificação necessária para a adoção dessa nova tecnologia nas empresas.

Ajmera e Jain (2019)[21] afirmam que no momento, os funcionários não tem informações esclarecidas sobre os benefícios potenciais do uso da IoT. Segundo Choi et al. (2015)[59], existe uma tendência nas empresas de que o responsável de cada nível de fabricação preocupa-se apenas com a sua área de trabalho, o que gera uma dificuldade para fazer uma análise para otimizar o desempenho de uma fábrica como um todo.

Na pesquisa feita por Müller (2019)[55], a falta de competências e *know-how* foi apontada como um dos principais obstáculos a serem enfrentados, segundo os trabalhadores de uma fábrica alemã.

4.3.1.4 Barreiras Financeiras

Conforme Ajmera e Jain (2019)[21], implantar as tecnologias da Indústria 4.0 no setor de saúde indiano requer um grande investimento inicial para o desenvolvimento de uma estrutura adequada, com avançadas tecnologias automatizadas nas organizações de saúde. Ainda segundo os autores, “Tecnologias como IoT exigem um capital enorme e há sempre um medo de perda econômica” (AJMERA; JAIN, 2019)[21].

A introdução das tecnologias da Quarta Revolução Industrial requer uma quantidade significativa de investimento financeiro, o que dificulta a sua implementação, segundo

Horváth e Szabó (2019)[15]. Também afirmam que a rentabilidade e retorno do investimento em novas tecnologias trazem preocupações para muitas empresas. Outro obstáculo, segundo os autores, é o acesso limitado a recursos financeiros. Esses autores também mencionam ter identificado um fator até então não coberto por estudos anteriores, que é a preocupação das empresas em relação à rentabilidade dos sistemas e incertezas nas licitações. Os autores também afirmam que a falta de mão-de-obra qualificada não estar disponível no momento atual é uma das barreiras, pois seria um grande desafio reciclar o conhecimento dos funcionários atuais, necessitando de muito tempo e investimentos financeiros.

Na pesquisa sobre a implementação da Indústria 4.0 no setor de manufatura indiano, os autores Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19] também chegaram à conclusão de que o alto custo financeiro é uma barreira para a implementação da Quarta Revolução Industrial.

Müller (2019)[55] afirma que na empresa no qual foi feita uma pesquisa sobre a implantação da Indústria 4.0, pelo ponto de vista dos funcionários, faltariam recursos financeiros suficientes para a implementação da Indústria 4.0 na empresa toda. Outro problema apontado pelo autor é que caso os projetos não mostrem um benefício monetário claro ou se esse benefício for de longo prazo, os projetos não são abordados.

A falta de recursos financeiros também foi apontada por Raj et al. (2019)[54] como uma das principais barreiras para a implementação da Indústria 4.0, numa pesquisa que foi realizada em indústrias da França e Índia.

Singh e Bhanot (2019)[56], após levantarem as barreiras encontradas na literatura e também em um estudo feito através de conversas com especialistas chegaram à conclusão de que uma das principais barreiras para a implementação da IoT em empresas de manufatura da Índia é custo financeiro. Elaborar um sistema tecnológico seguro, com alto desempenho, com muitos sensores e atuadores de alta qualidade levaria a um investimento elevado. Além disso, os autores afirmam que: “Nas economias em desenvolvimento, onde há restrições de recursos juntamente com baixos investimentos iniciais, a incorporação da IoT é vista como um empreendimento de alto risco” (SINGH; BHANOT, 2019)[56].

No estudo de Stoltz et al. (2017)[58] para a implementação da Realidade Aumentada em armazéns chegou-se à conclusão que a questão de custos é uma barreira importante para a adoção dessa tecnologia.

4.3.1.5 Barreiras Legais e Políticas

Segundo os autores Ajmera e Jain (2019)[21], com o uso de tecnologias da Quarta Revolução Industrial na área da saúde, novas invenções seriam feitas, dando origem a questões como patentes e direitos autorais, que precisariam de atenção. Além disso, a digitalização está trazendo um desafio relacionado ao uso de dados externos e troca de informações entre organizações, e por isso, uma base legal deve ser formada para evitar

problemas. Também afirmam que há uma necessidade de cursos profissionalizantes na Índia voltados para essas novas tecnologias, e que esses poderiam ser oferecidos pelo governo indiano.

Para Kamble et al. (2019)[57], a falta de regulamentação e governança é um dos principais fatores que os profissionais das cadeias de abastecimento do varejo de alimentos devem prestar atenção para a implementação da Quarta Revolução Industrial.

A respeito da implementação das tecnologias da Indústria 4.0 na manufatura indiana, Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19] afirmam que uma das barreiras encontradas é a questão de conformidade regulatória. Os autores também chegaram à conclusão de que incerteza jurídica e contratual é um dos desafios a serem enfrentados para a Quarta Revolução Industrial.

Müller (2019)[55] afirma que é preciso que o acesso aos dados além dos limites dos departamentos da empresa precisa ser legalmente esclarecido. O autor afirma que uma das barreiras para a implementação da Indústria 4.0 é a falta de regulamentação dos direitos de acesso aos dados. Segundo o autor, é necessária uma nova regulamentação contratual: “Isso deve incluir tópicos como responsabilidade, proteção de dados, segredos comerciais e distribuição adequada de lucros em projetos conjuntos entre diferentes empresas” (MÜLLER, 2019)[55].

No estudo feito por Raj et al. (2019)[54] em empresas francesa e indiana, chegou-se à conclusão que: “‘falta de normas, regulamentos e formas de certificação’ é a barreira que mais influencia a não adoção da Indústria 4.0 no caso da empresa indiana” (RAJ et al., 2019)[54].

4.3.1.6 Outras Barreiras

Em um estudo sobre a implementação da Indústria 4.0 no setor de manufatura da Índia, Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19] chegaram à conclusão que uma das barreiras é a falta de compreensão clara sobre os benefícios gerados pela Internet das Coisas.

Türkcs et al. (2019)[16] realizaram uma pesquisa sobre a Romênia, e afirmaram que as pequenas e médias empresas destacaram ter algumas barreiras para a transição para as fábricas inteligentes. Entre as barreiras mencionadas estão: a falta de conhecimento da Indústria 4.0, falta de compreensão da importância estratégica da Indústria 4.0, a falta de recursos humanos e a educação continuada de funcionários, assim como o fato das empresas acharem que o seu foco vai mudar (focar mais na operação ao invés do desenvolvimento da empresa em si).

4.4 Oportunidades e Lacunas de Pesquisas

Com base na análise sistêmica realizada nesse trabalho, foi possível identificar que ainda existem lacunas a serem pesquisadas sobre as barreiras para a implementação da Indústria 4.0 nas empresas. Essas oportunidades de pesquisa são mostradas a seguir.

Segundo Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19], Ajmera e Jain (2019)[21], Horváth e Szabó (2019)[15] e Müller (2019)[55], precisariam ser realizadas mais pesquisas sobre as barreiras da Indústria 4.0, dando como sugestão que essas pesquisas fossem realizadas em outros países, diferentes dos estudados. Assim, seria possível analisar a existência de outras barreiras que dificultam a implementação das tecnologias da Quarta Revolução Industrial e como essas estão relacionadas entre si. Também seria possível comparar se existem semelhanças ou diferenças entre os países em relação às barreiras encontradas.

Outra questão levantada por Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19], é que poderiam ser feitas pesquisas para comparar como que é a implementação da Indústria 4.0 em países desenvolvidos e em desenvolvimento, e assim, analisar como é a realidade enfrentada por esses países que vivenciam diferentes situações econômicas e sociais.

Além disso, também é necessário estudar mais as questões sociais em relação às tecnologias da Indústria 4.0. É preciso analisar aspectos relacionados à gestão das empresas, perspectivas dos funcionários e também dos governantes que devem dar mais apoio para as empresas que desejam implementar projetos da Indústria 4.0 (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; MÜLLER, 2019)[15][55].

Durante a Fase 4 do método SYSMAP, percebeu-se que modelos matemáticos foram utilizados para analisar as relações entre as barreiras para implementação da Indústria 4.0. Ajmera e Jain (2019)[21] utilizaram o modelo *Total Interpretive Structural Modelling* (TISM) para extrair quais eram as principais barreiras para adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no setor de saúde indiano, assim como, as relações entre tais obstáculos. Esses autores indicaram a utilização de *Structural Equation Modeling* (SEM) para testar o modelo desenvolvido em seu artigo.

Os autores Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018)[19] utilizaram um modelo baseado em *Interpretive Structural Modeling* (ISM) para estabelecer as relações entre as barreiras encontradas. Também utilizaram análise *fuzzy Matriced' Impacts Croise's Multiplication Appliquée à un Classement* (fuzzy MICMAC) para descobrir o poder de condução e dependência de tais barreiras. Por fim, esses autores recomendam que em pesquisas futuras seja utilizado o modelo *Multivariate Extreme Value* (MEV) para validar estatisticamente o modelo desenvolvido em seu artigo.

Raj et al. (2019)[54] utilizaram o método *Grey Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory* (Grey-DEMATEL) em seu artigo. Essa técnica é capaz de identificar qual é o grau de influência de uma barreira em relação às outras. Esses autores recomendam a

utilização de técnicas de *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) em pesquisas futuras para comparar com os resultados encontrados em seu artigo.

Para Raj et al. (2019)[54], outra pesquisa importante que poderia ser feita é identificar quais são os fatores que são favoráveis à implementação das tecnologias da Indústria 4.0. Assim, a troca de informações e experiências bem sucedidas poderia facilitar a difusão dessas tecnologias nas empresas de diferentes países.

Novas pesquisas também devem ser feitas relacionadas à questão da segurança cibernética, buscando o desenvolvimento de padrões e protocolos de segurança que satisfaçam as necessidades das empresas ao adotarem as novas tecnologias. O desenvolvimento de dispositivos padronizados diminui os problemas de incompatibilidade e também de manutenção encontrados pelas empresas. Além de reduzir o esforço dos profissionais que vão instalar e utilizar tais dispositivos, a padronização deve ser capaz de proteger os dispositivos contra *hackers* externos (CHOI et al., 2015; SINGH; BHANOT, 2019)[59][56].

Também é importante que os pesquisadores e desenvolvedores de tecnologias trabalhem junto do usuário final, assim, é possível saber melhor quais são as suas reais necessidades, e por consequência, buscar a melhor solução para ele. Como o usuário é quem vai trabalhar com a tecnologia a ser desenvolvida, é fundamental que o seu ponto de vista seja analisado quando se deseja implementar uma nova tecnologia (STOLTZ et al., 2017; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; MÜLLER, 2019)[58][15][55].

5 Conclusões

Neste capítulo, são apresentadas as Considerações Finais do trabalho e as Recomendações Futuras.

5.1 Considerações Finais

O objetivo geral desse trabalho foi "Identificar as barreiras e/ou obstáculos no processo de implementação da Indústria 4.0 nas empresas". Tal objetivo foi atingido através de uma revisão de literatura estruturada por meio do método SYSMAP e de *softwares* bibliométricos, sendo estes: *RStudio*, *Endnote*, *VOSviewer*, *CitNetExplorer*. O processo foi realizado em quatro (4) fases: **Construção da Coleção de Documentos** através de busca nas bases de dados (*Web of Science* e *Scopus*), **Filtragem**, **Análise Bibliométrica** e **Análise Sistêmica**.

As palavras-chave utilizadas durante as buscas nas bases de dados foram: ((***Industry 4.0*** OR ***Industrial Internet of Thing*** OR ***Smart Factor*** OR ***Smart Manufactur\$*** OR ***Cyber Physical Systems***) AND (***Barrier\$*** OR ***Obstacle\$*** OR ***Blocking\$***). Essas buscas foram realizadas no mês de março de 2020.

Foram encontrados 648 documentos no total, sendo 473 sem duplicados (utilizados na Análise Bibliométrica) e 149 disponíveis para pesquisas. Desses artigos disponíveis, 17 (utilizados na Análise Sistêmica) pareciam estar alinhados com o tema, conforme a leitura de títulos e resumos. Após a leitura integral desses 17 documentos, 7 foram descartados por não estarem realmente alinhados com o tema da pesquisa, e 1 artigo que tinha sido lido para outra parte desse trabalho foi acrescentado à amostra. Portanto, 11 artigos tiveram seus conteúdos analisados conforme cinco (5) critérios:

- i) Quais os conceitos e definições sobre o assunto usado pelos autores?
- ii) Quais os tipos de metodologias usados pelos autores?
- iii) Quais as regiões/países/setores que implementaram e estão desenvolvendo estudos sobre Indústria 4.0?
- iv) Quais as barreiras e obstáculos identificados pelos autores na implementação da Indústria 4.0?
- v) Quais as recomendações de trabalhos futuros pelos autores?

Como mencionado anteriormente, a busca nas bases de dados resultou em 648 documentos, sendo 226 da *Web of Science* e 422 da *Scopus*. A pesquisa também revelou que a maior parte desses 648 documentos é composta por artigos (253) e também publicações em conferências (231). O ano com mais documentos encontrados nessa pesquisa é 2019,

com 244 documentos. Além disso, apesar do termo "Indústria 4.0" ter surgido em 2011, o documento mais antigo encontrado nessa pesquisa foi de 2009, e deve ter sido encontrado pelas outras palavras-chave utilizadas na busca, como por exemplo, sistema cyber-físico.

Na Análise Bibliométrica foram utilizados apenas os documentos que não estavam duplicados, ou seja, foram utilizados 473 documentos. A partir desses documentos, foram realizadas 22 análises, sendo mostrados os principais resultados a seguir.

O *journal* que mais publicou documentos é o *Lecture Notes in Computer Science* (incluindo suas subséries *Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics*), com 19 artigos publicados. Entre os destaques de cocitação entre *journals* estão: *International Journal of Production Research, Production*, e também, *Proceedings of the IEEE*.

Além disso, as instituições que mais produziram artigos até a data da pesquisa foram *Northeastern University* e *University of Texas at Dallas*, sendo que cada uma das instituições havia 10 artigos. Na colaboração entre instituições, a pesquisa mostrou que existem tanto colaborações entre instituições próximas, como é o caso de algumas instituições asiáticas, tanto como entre instituições de continentes diferentes, como o caso da UFSC colaborando com instituições europeias.

O autor mais produtivo, segundo a pesquisa, é **Y. Zhang**, com 4 documentos. Y. Zhang também foi o autor que mais se destacou quando se trata de colaboração com outros autores. Já na rede de cocitação de autores, ou seja, quando autores são citados de forma conjunta, o que mais se destacou foi **H. Kagermann** juntamente com o total de autores anônimos.

Também foi possível ver nessa pesquisa que o país que mais produziu documentos de forma individual sobre o tema é a **Alemanha**. Entretanto, conforme a Figura 30, que mostra a colaboração entre países, os **EUA** fizeram uma quantidade maior de colaborações com outros países (em quantidade de documentos), e também são o país que mais fez colaborações com outras nações (pela quantidade de países). O mapa de colaboração entre países mostrou que os EUA fazem bastante colaboração tanto com a Itália, quanto com a China.

Esse trabalho também mostrou quais são as referências mais citadas, tendo destaque "*Industry 4.0*", escrito por Lasi et al. em 2014, e também, "*A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*", escrito por Lee, Bagheri e Kao em 2015. Ambas referências foram citadas 14 vezes, conforme a pesquisa. Já na rede de cocitação de referências, os maiores destaques eram **Jay Lee (2015)** e **H. Lasi (2014)**.

A palavra-chave mais frequente nos documentos era "*Embedded Systems*", aparecendo 159 vezes, e isso pode ser visto tanto na tabela das palavras-chave mais frequentes, quanto no *TreeMap*. "*Embedded Systems*" também foi o principal tema de tendência, tendo 159 aparições em 2017. Já a nuvem de palavras trouxe destaque para os termos

"*cyber physical system*" e "*internet of things*". A co-ocorrência de palavras-chave foi de acordo com esses dados, pois entre as palavras que tiveram mais destaque foram "*embedded systems*", "*cyber physical systems*", "*industry 4.0*" e "*internet of things*". Além disso, a Figura 36, que mostrava os temas de tendência e suas relações com o passar dos anos, mostrou que sistemas **cyber-físicos** já era tema de tendência em 2010, e que apenas em 2017 **Indústria 4.0** tornou-se tema de tendência.

Através da rede histórica de citação direta, ou historiograma, foi possível observar que existem 3 temas de pesquisa, correspondentes a *clusters* diferentes. Entre os temas estão **metodologias de migração de uma indústria tradicional para uma indústria que tenha as tecnologias da Indústria 4.0**, quais são as **dificuldades enfrentadas por algumas empresas e também a relação da Indústria 4.0 e Lean Manufacturing**, e por último, a **utilização de sistemas cyber-físicos para a realização de cálculos em sistemas de controle**.

Já o mapa temático revelou que **sistemas de computação distribuídos, processos de controle e arquitetura de rede** são temas motores para a Indústria 4.0.

Por fim, através das palavras-chave foi possível observar que as palavras "*Big Data*", "*management*", "*internet*", "*future*", "*systems*" e também "*barriers*" estão altamente relacionadas.

Na Análise de Conteúdo, foram identificadas 6 principais grupos de barreiras que dificultam a implementação da Indústria 4.0 nas empresas, sendo: **barreiras tecnológicas** (falta de segurança e privacidade, falta de infraestrutura, falta de padronização e questões operacionais), **barreiras gerenciais**, **barreiras impostas pelos trabalhadores** (medo de perder o emprego, resistência a aceitar, compreender e utilizar novas tecnologias, e também, falta de conhecimento e qualificação), **barreiras financeiras**, **barreiras legais e políticas**, e também o grupo de **outras barreiras**, como por exemplo, falta de compreensão clara sobre os benefícios da Indústria 4.0.

Assim, é possível notar que a implementação da Indústria 4.0 depende de vários fatores que não são apenas relacionados ao desenvolvimento de tecnologias, mas sim com várias outras questões, como financeiras e sociais.

Também foi possível notar que dos 11 artigos lidos durante a Análise de Conteúdo, 7 apontavam a padronização como uma das barreiras para a implementação da Indústria 4.0. Desses 11 artigos, apenas 1 chegou a mencionar o modelo RAMI 4.0, que tenta auxiliar a padronização e implementação das tecnologias da Quarta Revolução Industrial. O RAMI 4.0 também deve trazer benefícios relacionados à segurança e privacidade, entretanto, essa barreira foi mencionada em 5 desses 11 artigos. Também deve ajudar a definir as funções de todos os envolvidos na Indústria 4.0, o que poderia reduzir um pouco o medo e a falta compreensão dos trabalhadores e também auxiliar os gestores nessa implementação, e possivelmente, tentar eliminar essas barreiras. Portanto, pelo fato do modelo RAMI não ter sido tão comentado nesses artigos, esse modelo pode não ser suficiente

para as necessidades das indústrias, ou então, o mesmo não é tão conhecido pelos autores, empresários, funcionários e especialistas que foram entrevistados nesses artigos lidos.

Além disso, esse trabalho também destacou quais são as Oportunidades e Lacunas de Pesquisas sobre o tema, com base na Análise Sistêmica. Entre essas lacunas está a realização de mais pesquisas sobre as barreiras que dificultam a implementação da Indústria 4.0, realizar a pesquisa em mais países, tanto em desenvolvimento quanto desenvolvidos, e também, analisar as diferenças e semelhanças encontradas nesses países. Mais estudos sobre as questões sociais envolvidas nesse tema também são importantes. Além disso, a utilização de outros métodos matemáticos diferentes dos utilizados nos artigos para analisar as barreiras mais relevantes e as relações entre tais barreiras. Também é preciso novos estudos sobre a questão da segurança cibernética, buscando formas de aumentar a segurança das informações, e buscar por protocolos de comunicação que satisfaçam as necessidades das empresas. Outro ponto importante a ser tratado é a questão da incompatibilidade entre dispositivos, ou seja, deve-se buscar uma padronização dos dispositivos. Por fim, é necessário que os desenvolvedores de tecnologias trabalhem junto com o usuário final para saber quais são suas reais necessidades e buscar a melhor solução para satisfazê-las em conjunto.

5.2 Recomendações Futuras

Este capítulo, traz as recomendações futuras dessa pesquisa. Entre as sugestões estão:

- Utilizar mais bancos de dados disponíveis no portal da Capes;
- Utilizar mais artigos para Análise Sistêmica;
- Considerar também os bancos de dados nacionais;
- Utilizar outros tipos de materiais, como livros, congressos científicos, dissertações e teses;
- Realizar estudo de caso para verificar as barreiras para a implementação da Indústria 4.0 encontradas na literatura.

Referências Bibliográficas

- 1 PETRESCU, F. Contributions to the stirling engine study. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 11, p. 1258–1292, 04 2018. 8, 19
- 2 MORAES, C.; ABREU, C. M. de. A história das máquinas. In: _____. 1. ed. São Paulo: Magma, 2006. 8, 18, 19
- 3 FERREIRA, M. Chapter 7 the material body and the mechanical body. In: _____. [S.l.: s.n.], 2016. p. 173–192. 8, 20
- 4 GAMERO, I. *Robôs Industriais: tudo o que você precisa saber!* [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.pollux.com.br/blog/robos-industriais-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 08 jul. 2020. 8, 21
- 5 AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. *Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil: Os ganhos de eficiência produtiva correspondem a uma economia de r\$ 31 bilhões*. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>>. Acesso em: 27 nov. 2020. 8, 15, 23
- 6 SANTINI, B. *Case Amazon: Uso de robôs na logística interna fez dela a 3ª empresa mais valiosa do mundo!* [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.pollux.com.br/blog/case-amazon-uso-de-robos-na-logistica-fez-dela-3a-maior-empresa-do-mundo/>>. Acesso em: 08 jul. 2020. 8, 25
- 7 A VOZ DA INDÚSTRIA. *Uso de impressão 3D na indústria*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://avozdaindustria.com.br/industria-40-totvs/uso-de-impress-o-3d-na-industria>>. Acesso em: 08 jul. 2020. 8, 26
- 8 SENAI. *A Simulação Digital é a aplicabilidade industrial que permite testar e aprimorar produtos ainda na etapa de concepção, um dos principais pilares da Indústria 4.0*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.sesirs.org.br/industria-inteligente/tudo-sobre-simulacao-digital-um-dos-principais-pilares-da-industria-40>>. Acesso em: 08 jul. 2020. 8, 26, 27
- 9 VENTURELLI, M. *RAMI – PADRONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/rami-padroniza%C3%A7%C3%A3o-da-ind%C3%BAstria-40-m%C3%A1rcio-venturelli>>. Acesso em: 07 ago. 2020. 8, 28
- 10 VAZ, C.; URIONA-MALDONADO, M. Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo sysmap (scientometric and systematic yielding mapping process). In: _____. [S.l.: s.n.], 2017. 8, 32, 71
- 11 SCHWAB, K. A quarta revolução industrial. In: _____. 1. ed. São Paulo: Edipro, 2019. p. 18–21. 14, 18, 20, 22

- 12 LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, 04 2017. 14, 21, 23, 57
- 13 AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. *Indústria 4.0 saltará de 1,6% para 21,8% das empresas em uma década, diz pesquisa da CNI*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-2027/noticias/industria-40-saltara-de-16-para-218-das-empresas-em-uma-decada-diz-pesquisa-da-cni/>>. Acesso em: 24 nov. 2020. 16
- 14 GEISSBAUER, J. V. R.; SCHRAUF, S. *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2020. 16
- 15 HORVATH, D.; SZABO, R. Driving forces and barriers of industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, v. 146, p. 119–132, 06 2019. 18, 20, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 80, 81
- 16 CATALINA, T. M. et al. Drivers and barriers in using industry 4.0: A perspective of smes in romania. *Processes*, v. 7, p. 153, 03 2019. 20, 63, 74, 79
- 17 SCHWAB, K. et al. *Aplicando a Quarta Revolução Industrial*. [S.l.: s.n.]. ISBN 9788552100492. 20, 21
- 18 KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 – Securing the Future of German Manufacturing Industry*. München, 2013. Disponível em: <http://forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_final_report.pdf>. 21, 57
- 19 KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, v. 101, p. 107–119, 07 2018. 23, 64, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80
- 20 LASI, H. et al. Industry 4.0. *Business Information Systems Engineering*, v. 6, p. 239–242, 08 2014. 23, 55, 57
- 21 AJMERA, P.; JAIN, D. V. Modelling the barriers of health 4.0—the fourth healthcare industrial revolution in india by tism. *Operations Management Research*, v. 12, 08 2019. 23, 24, 25, 26, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 80
- 22 LYDON, B. *RAMI 4.0: Reference architectural model for industrie 4.0*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.isa.org/intech/20190405/>>. Acesso em: 06 ago. 2020. 27
- 23 OGATA, K. Engenharia de controle moderno. In: _____. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. p. 1–3. 29
- 24 MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. de L. Engenharia de automação industrial. In: _____. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. p. 3–19. 29
- 25 MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. fundamentos da metodologia científica. In: _____. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. p. 83. 31

- 26 PEREIRA, J. M. Manual de metodologia da pesquisa científica. In: _____. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2016. 31
- 27 SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. In: _____. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. p. 19–28. 31
- 28 GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. In: _____. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 31
- 29 MORIOKA, S.; CARVALHO, M. Sustentabilidade e gestão de projetos: um estudo bibliométrico. 2016. 33
- 30 LAGE, M. Utilização do software nvivo em pesquisa qualitativa: Uma experiência em ead. *ETD - Educação Temática Digital*, v. 12, p. 198–226, 03 2011. 36
- 31 WALTER, S.; BACH, T. Adeus papel, marca-textos, tesoura e cola: Inovando o processo de análise de conteúdo por meio do atlas.ti. *Administração: Ensino e Pesquisa (RAEP)*, v. 16, p. 275–308, 06 2015. 36
- 32 HERBERT, T. L. Endnote 5 for windows. *The Journal for Chemical Information and Computer scientists*, 2002. 38
- 33 ECK, N. J. van; WALTMAN, L. Software survey: Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, v. 84, p. 523–538, 08 2010. 38
- 34 LEIDEN UNIVERSITY. *Welcome to CitNetExplorer*. Países Baixos, 2020? Disponível em: <<https://www.citnetexplorer.nl/>>. Acesso em: 27 abr. 2020. 39
- 35 TORGO, L. *Introdução à Programação em R*. Cidade do Porto, 2006. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/doc/contrib/Torgo-ProgrammingIntro.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2020. 40
- 36 LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18 – 23, 2015. ISSN 2213-8463. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631400025X>>. 56, 57
- 37 LIAO, Y. et al. Past, present and future of industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, v. 55, 03 2017. 57
- 38 ERP, T. van; SELIGER, G. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia CIRP*, v. 40, p. 536–541, 12 2016. 57
- 39 LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *SME Manufacturing Letters*, v. 3, 12 2014. 57
- 40 HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, v. 89, p. 23–34, 08 2017. 57
- 41 BRETTEL, M. et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, v. 8, p. 37–44, 08 2014. 57

- 42 MOGHADDAM, M. et al. Reference architectures for smart manufacturing: A critical review. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 49, p. 215–225, 10 2018. 62
- 43 CALÀ, A. et al. Migration from traditional towards cyber-physical production systems. In: . [S.l.: s.n.], 2017. 63
- 44 XU, L.; XU, E.; LI, L. Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, v. 56, p. 1–22, 03 2018. 63, 73, 74
- 45 MOURTZIS, D.; VLACHOU, K. Cloud-based cyber physical systems and quality of services. *TQM Journal*, v. 28, 08 2016. 64
- 46 SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 9, p. 811, 09 2016. 64
- 47 TORTORELLA, G. et al. The mediating effect of employees' involvement on the relationship between industry 4.0 and operational performance improvement. *Total Quality Management and Business Excellence*, 10 2018. 64
- 48 GJELDUM, N.; MLADINEO, M.; VEZA, I. Transfer of model of innovative smart factory to croatian economy using lean learning factory. *Procedia CIRP*, v. 54, p. 158–163, 12 2016. 64
- 49 BUER, S.-V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. The link between industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, v. 56, p. 1–17, 03 2018. 65
- 50 KHAN, U. et al. Cps oriented control design for networked surveillance robots with multiple physical constraints. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, v. 35, p. 1–1, 05 2016. 65
- 51 ZHANG, K.; SPRINKLE, J.; SANFELICE, R. A hybrid model predictive controller for path planning and path following. In: . [S.l.: s.n.], 2015. p. 139–148. 66
- 52 CALLON, M.; COURTIAL, J.-P.; LAVILLE, F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. *Scientometrics*, v. 22, p. 155–205, 09 1991. 66
- 53 CAHLIK, T. Comparison of the maps of science. *Scientometrics*, v. 49, p. 373–387, 11 2000. 66
- 54 RAJ, A. et al. Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, v. 224, p. 107546, 11 2019. 72, 73, 75, 76, 78, 79, 80, 81
- 55 MULLER, J. Assessing the barriers to industry 4.0 implementation from a workers' perspective. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 51-52, 01 2019. 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81
- 56 SINGH, R.; BHANOT, N. An integrated dematel-mmde-ism based approach for analysing the barriers of iot implementation in the manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, v. 58, p. 1–23, 10 2019. 72, 74, 77, 78, 81

-
- 57 KAMBLE, S. et al. Modeling the internet of things adoption barriers in food retailing supply chains. *Journal of Retailing and Consumer Services*, v. 48, p. 154–168, 02 2019. 73, 75, 77, 79
- 58 STOLTZ, M.-H. et al. Augmented reality in warehouse operations: Opportunities and challenges. In: . [S.l.: s.n.], 2017. v. 50. 74, 76, 78, 81
- 59 CHOI, S. et al. Digital manufacturing in smart manufacturing systems: Contribution, barriers, and future directions. In: . [S.l.: s.n.], 2015. 76, 77, 81

A ANEXO A - Artigos da Análise Sistêmica

Esse anexo traz a relação dos documentos utilizados durante a etapa de Análise Sistêmica ou Análise de Conteúdo, referente à Fase 4 do método SYSMAP.

Autor	Ano	Título	Revista
Ajmera; P. e Jain; V.	2019	Modelling the barriers of Health 4.0—the fourth healthcare industrial revolution in India by TISM	Operations Management Research
Choi; S. S.; Jun; C.; Zhao; W. B. e Noh; S. D.	2015	Digital Manufacturing in Smart Manufacturing Systems: Contribution, Barriers, and Future Directions	
Horváth; D. e Szabó; R. Z.	2019	Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?	Technological Forecasting and Social Change
Kamble; S. S.; Gunasekaran; A.; Parekh; H. e Joshi; S.	2019	Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains	Journal of Retailing and Consumer Services
Kamble; S. S.; Gunasekaran; A. e Sharma; R.	2018	Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry	Computers in Industry
Müller; J. M.	2019	Assessing the barriers to Industry 4.0 implementation from a workers' perspective	9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling
Raj; A.; Dwivedi; G.; Sharma; A.; Lopes de Sousa Jabbour; A. B. e Rajak; S.	2019	Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective	International Journal of Production Economics
Singh; R. e Bhanot; N.	2019	An integrated DEMATEL-MMDE-ISM based approach for analysing the barriers of IoT implementation in the manufacturing industry	International Journal of Production Research
Stoltz; M. H.; Giannikas; V.; McFarlane; D.; Strachan; J.; Um; J. e Srinivasan; R.	2017	Augmented Reality in Warehouse Operations Opportunities and Barriers	IFAC-PapersOnLine
Türkcs; M. C.; Oncioiu; I.; Aslam; H. D.; Marin-Pantelescu; A.; Topor; D. I. e Capusneanu; S.	2019	Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania	Processes
Xu; L. D.; Xu; E. L. and Li; L.	2018	Industry 4.0: state of the art and future trends	International Journal of Production Research