

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

ARTHUR NUNES DE CASTRO OLIVEIRA

**INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS E ANÁLISE DOS PRINCIPAIS DESAFIOS DE
IMPLANTAÇÃO NAS EMPRESAS**

**MACEIÓ
2023**

ARTHUR NUNES DE CASTRO OLIVEIRA

**INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS E ANÁLISE DOS PRINCIPAIS DESAFIOS DE
IMPLANTAÇÃO NAS EMPRESAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal de Alagoas, ao curso de Engenharia de Computação, como requisito de avaliação final de unidade avaliativa, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. João Raphael Souza Martins

MACEIÓ

Outubro/2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 - 1767

O48i Oliveira, Arthur Nunes de Castro.
 Indústria 4.0 : conceitos e análise dos principais desafios de
 implantação nas empresas / Arthur Nunes de Castro Oliveira. – 2023.
 41 f. : il.

Orientador: João Raphael Souza Martins.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de
Computação) - Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Computação.
Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 36-39.
Apêndices: f. 40-41.

1. Quarta Revolução Industrial. 2. Indústria 4.0 - Desafios. 3. Sistemas
físicos cibernéticos. I. Título.

CDU: 007

*Dedico esta monografia aos meus pais, por
todo investimento e esperanças aplicadas em
mim.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de estender minha sincera gratidão a todas as pessoas que fizeram parte desta jornada acadêmica. Agradeço à minha família pelo apoio constante, aos meus professores pela orientação e ensinamentos valiosos, aos amigos que estiveram ao meu lado, e aos colegas que compartilharam ideias e experiências

RESUMO

Com o crescente desenvolvimento da computação, o mundo presencia o surgimento de novas tecnologias capazes de impactar diretamente o cotidiano das pessoas, além das mais diversas áreas do mercado, como: economia, indústria e serviços. Diante deste contexto de avanços tecnológicos, surge o conceito de Indústria 4.0, onde o uso generalizado de sensores e a troca autônoma de dados entre dispositivos, possibilita a criação de Sistemas Físicos Cibernéticos (CPS) cuja principal característica é a virtualização do ambiente fabril, possibilitando maior controle e monitoramentos dos processos, porém essa nova Revolução Industrial traz consigo novos desafios. Desta forma foi realizada uma revisão bibliográfica, a fim de abordar os principais conceitos referentes as Indústria 4.0, como também identificar as principais dificuldades de implantação dessas novas tecnologias na indústria. Para realização da pesquisa, foram utilizados os mecanismos de busca: Science Direct, Web Of Science, IEEE Xplore e Scopus, utilizando palavras-chave relacionadas à Quarta Revolução Industrial e tecnologias afins. Inicialmente foi realizada uma análise crítica do material bibliográfico para identificar os principais desafios relacionados a Indústria 4.0, em seguida, por meio do método Survey, será realizada uma coleta de dados com gestores para validação dos resultados obtidos. Portanto, como resultados preliminares, pode-se perceber que os principais problemas enfrentados consistem na segurança das informações, falta de integração entre os processos de desenvolvimento e implantação dos algoritmos, a complexidade dos dados e o elevado custo de implantação.

Palavras-chaves: Quarta Revolução Industrial. Desafios. Sistemas Físicos Cibernéticos

ABSTRACT

With the growing development of computing, the world is witnessing the emergence of new technologies capable of directly impacting people's daily lives, in addition to the most diverse areas of the market, such as: economy, industry and services. Faced with this context of technological advances, the concept of Industry 4.0 emerges, where the widespread use of sensors and the autonomous exchange of data between devices, enables the creation of Cyber Physical Systems (CPS) whose main characteristic is the virtualization of the manufacturing environment, enabling greater control and monitoring of processes, but this new Industrial Revolution brings with it new challenges. In this way, a bibliographic review was carried out in order to address the main concepts related to Industry 4.0, as well as to identify the main difficulties of implantation of these new technologies in the industry. To carry out the research, the search engines were used: Science Direct, Web Of Science, IEEE Xplore and Scopus, using keywords related to the Fourth Industrial Revolution and related technologies. Initially, a critical analysis of the bibliographic material was carried out to identify the main challenges related to Industry 4.0, then, using the Survey method, data collection will be carried out with managers to validate the results obtained. Therefore, as preliminary results, it can be seen that the main problems faced consist of information security, lack of integration between the development and implementation processes of the algorithms, the complexity of the data and the high cost of implementation.

Keywords: Fourth Industrial Revolution. Challenges. Cyber Physical Systems

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os quatro estágios da revolução industrial.....	18
Figura 2 – Relação entre os pilares e principais tecnologias da Indústria 4.0.....	20
Figura 3 – Módulos básicos da IoT.....	22
Figura 4 – Guia Sistemático para o desenvolvimento de revisão de literatura.....	27
Figura 5 – Procedimentos metodológicos.....	27
Figura 6 – Palavras-chave de busca.....	28
Figura 7 – Distribuição das publicações obtidas por ano.....	30
Figura 8 – Foco do uso de tecnologias digitais (%).....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Documentos predominantes em cada mecanismo de busca.....	30
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
AI	Artificial Intelligence
IoT	Internet of Things
CPS	Cyber Physical Systems
IoS	Internet of Services
MIT	Massachusetts Institute of Technology
IP	Internet Protocol
RFID	Radio Frequency IDentification
NFC	Near Field Communication
WiFi	Wireless Fidelity
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemica
CNI	Confederação Nacional da Indústria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivo Geral	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2.1 Evolução dos Sistemas Manufatureiros.....	15
2.2 Indústria 4.0: Principais Conceitos	17
2.3 Pilares da Indústria 4.0	19
2.4 Principais Tecnologias.....	21
2.4.1 Internet das Coisas	21
2.4.2 Sistema Físico Cibernético	23
2.4.3 Computação em Nuvem	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 Coleta de dados.....	26
3.1.1 Definição do objetivo	27
3.1.2 Análise Preliminar	28
3.1.3 Estabelecimento de critérios de inclusão	28
3.1.4 Estabelecimentos de métodos e ferramentas	29
3.1.5 Extração e validação dos dados	29
4 RESULTADOS	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	36
APÊNDICE	40

1 INTRODUÇÃO

Muito se tem discutido o grande salto tecnológico que o mundo passou nos últimos anos, boa parte desta tecnologia está sendo empregada para auxiliar as pequenas atividades do cotidiano das pessoas, como também nas mais diversas áreas do mercado, como: economia, indústria e serviços. O desenvolvimento de tecnologias como: Artificial Intelligence (AI), *Big Data*, *Internet of Things* (IoT) e as mais diversas técnicas de análise de dados tem proporcionado grandes ganhos a empresas das mais diversas áreas.

Diante da globalização e do consequente aumento da competitividade do mercado mundial, muitas empresas sentem a necessidade de inovar por meio da aplicação de tecnologias que aumentem a eficiência de seus processos, tendo em vista que as constantes mudanças nos hábitos dos consumidores exigem das indústrias maior diversidade de produtos e conseqüentemente maior flexibilidade de produção, fazendo-as repensar seu modo de agir e se organizar internamente.

Com a evolução das tecnologias da informação, dispositivos tornam-se cada vez mais aptos a se comunicarem entre si, coletando e produzindo grandes quantidades de dados, que associados as técnicas mais avançadas de inteligência artificial e processamento de dados, são capazes de gerar informações de grande importância para o monitoramento e controle de processos industriais, reduzindo desperdício, perdas e custos. Desta forma, essa integração entre dispositivos inteligentes e grande processamento de dados cria um sistema físico cibernético, caracterizando a Indústria 4.0.

O sistema físico cibernético compreende um conjunto de dispositivos capazes de trocar informações entre si de forma autônoma, realizando ações e controlando uns aos outros de forma independente, tornando os processos industriais mais eficientes. Os sistemas integrados de manufatura inteligente são conectados verticalmente pelos processos de negócios da empresa, como também horizontalmente pelas cadeias de valor que podem ser gerenciadas de ponta a ponta, proporcionando aos gestores uma visão completa de tudo o que ocorre no chão de fábrica (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Contudo, a implementação deste tipo de tecnologia em uma indústria traz consigo grandes desafios, como: adequação de layout, mudanças culturais, alto grau de especialização, mudanças nas linhas de produção, grandes investimentos, entre outros. Desta forma, devido a esses desafios que esta mudança tecnológica impõe, muitas empresas que optam por aderir a

esse movimento não fazem completo uso dos conceitos trazidos pela Revolução 4.0, como também, existem empresas que se tornam resistentes a essas mudanças, tornando-se aos poucos, obsoletas com modelos tradicionais de produção.

Portanto, este trabalho trata-se de uma *Survey* cujo objetivo é analisar os principais conceitos e tecnologias referentes à indústria 4.0, como também identificar estudos relacionados a dificuldade na implantação de novas tecnologias 4.0 na indústria. Tais estudos servirão como referência para responder a seguinte questão: Quais as principais dificuldades encontradas pelas empresas em aderir aos conceitos da indústria 4.0?

1.1 Objetivo Geral

Analisar os principais conceitos e tecnologias referentes à indústria 4.0, como também identificar as principais dificuldades encontradas pelas empresas em aderir a este novo conceito de manufatura.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar principais bancos de dados bibliográficos
- Estabelecer critérios de inclusão e análise de materiais bibliográficos
- Analisar e Identificar principais dificuldades de acordo com a literatura

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Evolução dos Sistemas Manufatureiros

Transformar coisas faz parte da natureza humana, desde os tempos antigos o ser humano vem transformando diversos tipos de matéria prima em produtos acabados capazes de suprir suas necessidades. Desta forma, com o passar do tempo o homem já procurava meios de transformar recursos em bens acabados de forma mais eficiente possível (RENTES, 2008).

De acordo com Carvalho e Paladini (2012), um dos primeiros sistemas de manufatura era a produção artesanal, neste sistema, o artesão era um especialista e tinha o conhecimento de todo o ciclo de vida do produto. Neste tipo de produção, os produtos eram totalmente customizados, tendo em vista a maior participação do cliente no processo produtivo, onde suas necessidades eram comunicadas diretamente ao fabricante.

Ainda segundo Carvalho e Paladini, dentre as principais características da produção artesanal pode-se destacar: o baixo volume de produção, falta de controle de qualidade, trabalho manual e falta de padronização. Tais características aliadas ao crescimento contínuo da demanda, fez com que alguns produtores procurassem por alternativas que aumentassem sua produtividade, dando início a um processo de mecanização da produção, como descrevem Figueiredo e Neto (2010, p.4):

Durante a Idade Média, o crescimento das populações e do comércio levou os artesãos a aumentar sua capacidade produtiva. A solução encontrada para as limitações características do processo artesanal foi reproduzir algumas unidades do mesmo produto, ao invés de apenas uma. Nessa época, os artesãos ainda demonstravam muita habilidade e conhecimento do seu ofício, no entanto, o comércio sempre crescente aos poucos levou ao uso de moldes, gabaritos, ferramentas mais complexas e a uma repetição maior das peças produzidas para atender à demanda. Essa fase foi a precursora da mecanização.

Desta forma, por meio do surgimento de necessidades de mudanças no sistema de produção e o desenvolvimento da máquina a vapor, surge a Primeira Revolução Industrial (1760 – 1840) na Inglaterra. Com a industrialização da produção, houve a substituição progressiva do trabalho artesanal por máquinas e ferramentas, onde o artesão, que tinha total controle do processo desde a exploração de matéria prima à comercialização do produto final, passou a ser apenas mais um proletariado a serviço do patrão que controlava todo o processo, desde a matéria prima à distribuição final dos lucros (COELHO, 2016).

Segundo Lima e Oliveira Neto (2017), a Revolução Industrial pode ser interpretada como o ponto de partida histórico em que uma economia previamente agrária e artesanal deu lugar a uma economia dominada pela indústria e pela manufatura mecanizada, os autores afirmam ainda que tal revolução só foi possível devido ao contínuo crescimento econômico europeu, a mecanização industrial e o desenvolvimento ferroviário e naval.

Para Sakurai e Zuchi (2018), a Revolução Industrial ficou marcada como um período de grandes descobertas e desenvolvimento tecnológico, proporcionando assim a evolução da manufatura e dos transportes. Ainda segundo os autores, uma das principais tecnologias relacionadas à Revolução Industrial foi a máquina a vapor, desenvolvida por James Watt, que por sua vez, foi utilizada em larga escala pela indústria têxtil que ficou conhecida por sua produção excedente.

A partir da segunda metade do século XIX destaca-se a Segunda Revolução Industrial. Tal revolução trouxe consigo muitas inovações, se por um lado a Primeira Revolução se destacava pelo uso do ferro e do carvão em relação à energia a vapor, a Segunda Revolução destaca-se pela produção de aço e a eletricidade, provocando grandes mudanças em diferentes áreas. Essas mudanças ocorreram de forma gradativa, e aos poucos foram substituindo antigos processos, consolidando-se plenamente no século XX (CARA, 2019).

Desta forma, a Segunda Revolução Industrial proporcionou algumas mudanças econômicas e tecnológicas, como descrevem Santos (2022, p.14):

É na Segunda Revolução Industrial que a especialização do trabalho é levada ao extremo a fim de ter maiores retornos dos investimentos a partir de uma produção resultante de uma nova forma de organização das fábricas, agora dispostas de esteiras rolantes, que permitiam que o produto fosse sendo montado nas linhas de produção, a fim de uma maior agilidade e, portanto, uma maior produtividade. É nesse momento que o capitalismo dá um grande salto e as grandes economias, dentro do sistema de organização do sistema produtivo, puderam especializar-se em novas tecnologias que trouxeram a possibilidade de uma produção em larga escala para atender a mais consumidores.

Durante a Segunda Revolução Industrial, destaca-se o trabalho de Frederick Taylor com o desenvolvimento da Administração Científica. Com tal metodologia, o trabalho tornava-se fragmentado, os trabalhadores dominavam pequenas frações das atividades que eram realizadas repetidas vezes ao longo de toda jornada de trabalho. O modelo de

administração taylorista retirou os trabalhadores das etapas de concepção e planejamento (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Posteriormente ao desenvolvimento da Administração Científica de Taylor, no início do século XX, a indústria automobilística se destaca com seu modelo de produção em massa, com a introdução das linhas de montagem desenvolvidas por Henry Ford. Este novo modelo de produção, conhecido como Fordismo, configurou-se como um aperfeiçoamento do taylorismo, caracterizado pela intensificação da produção por meio da instalação da esteira mecânica, como também por ser um sistema padronizado e verticalizado (DE SOUZA; DOS SANTOS, 2017).

Entre os séculos XX e XXI, houve grandes avanços tecnológicos que proporcionaram a chamada Revolução Técnico-Científica e Informacional, também conhecida como Terceira Revolução Industrial. Esse novo modelo de manufatura só foi possível devido as grandes descobertas nos campos da informática, robótica, telecomunicações, transportes, biotecnologia, química fina, além da nanotecnologia (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Ainda segundo os autores, a Terceira Revolução Industrial ou Indústria 3.0 vai muito além de um movimento tecnológico, trata-se de um processo político e cultural marcado por um grande dinamismo e complexidade, acontecendo em uma escala global e em um ritmo intenso, impactando a sociedade de forma generalizada.

Segundo Chaguri (2022), a robótica teve um papel fundamental durante esse período, segundo o autor, embora ela não seja capaz de se adaptar de forma autônoma as adversidades, a robótica assume papel de destaque na substituição do trabalho humano, principalmente nas atividades repetitivas e que apresentam determinado nível de periculosidade ao trabalhador. Desta forma, com o intenso desenvolvimento da computação e robótica nasce o que viria a ser a Quarta Revolução Industrial, mais conhecida também como Indústria 4.0.

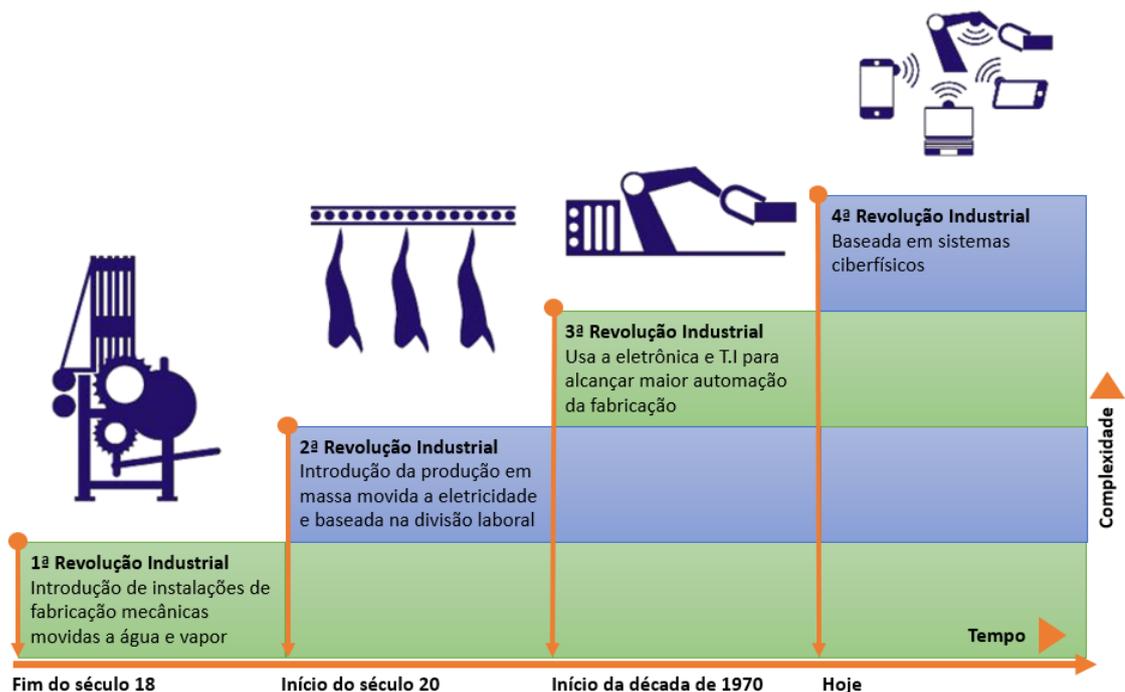
2.2 Indústria 4.0: Principais Conceitos

A Indústria 4.0, considerada por muitos acadêmicos como a 4ª Revolução Industrial, trata-se de um termo que ganhou popularidade em 2011, quando membros do governo alemão apresentaram uma estratégia de aperfeiçoar a competitividade da indústria por meio da implementação de tecnologias de alto nível. Tal estratégia faz parte do projeto denominado

High-Tech Strategy 2020 for Germany, cujo objetivo era fazer da Alemanha líder em inovação tecnológica (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Bahrin et al. (2016) conceitua a Indústria 4.0 como um modelo de produção composto por tecnologias de ponta conectadas à internet, desta forma, os sistemas de produção passam a ser mais flexíveis e colaborativos. Ainda segundo os autores, neste novo cenário de produção, as indústrias passariam a usar máquinas inteligentes, capazes de se otimizar e se configurarem automaticamente, além da aplicação de inteligência artificial para realização de tarefas complexas, tornando os processos mais eficientes e produtos/serviços com melhor qualidade. Desta forma, a Figura 1 a seguir ilustra a evolução da manufatura em função do tempo.

Figura 1 - Os quatro estágios da revolução industrial



Fonte: Adaptado de Kagermann, Wahlster e Helbig (2013)

Cheng et al. (2015) corroboram afirmando que as fábricas inteligentes, também conhecidas como *Smart Factories*, são o fator chave para alcançar o nível de flexibilidade necessário para atender as atuais exigências do mercado. Segundo os autores, tais exigências surgem de expectativas crescentes de produtividade, aumento da variedade de produtos, redução no tamanho dos lotes etc.

Uma das principais vantagens das *Smart Factories* seria a implementação generalizada de sensores no ambiente de produção, desta forma, a fábrica poderá coletar dados em tempo real possibilitando a virtualização do mundo físico, onde por meio desses sistemas físicos cibernéticos, os gestores podem testar e otimizar operações nas linhas de produção por meio de simulações (SANTOS et al., 2018).

Para Ruy (2017), a indústria 4.0 possibilita melhorias na gestão das organizações, para o autor, esse novo sistema de manufatura proporciona uma cooperação mais estreita entre fornecedores, clientes e funcionários. Segundo o autor, neste novo modelo de produção, os funcionários deixarão de realizar atividades rotineiras para se dedicar a tarefas mais criativas e de maior valor agregado, desta forma, essa nova Revolução Industrial dá origem a uma nova abordagem sociotécnica, cujo foco é o respeito e a importância do trabalho humano no processo de inovação.

Segundo Almeida (2019) a indústria 4.0 tem o potencial de alavancar a competitividade de muitas empresas, a Quarta Revolução Industrial proporciona a modernização dos processos e o atendimento personalizado aos clientes, porém o autor enfatiza que para implantar um sistema produtivo baseado na indústria 4.0, as empresas teriam de fazer seus planejamentos e investimentos baseados em alguns pilares ou princípios básicos.

2.3 Pilares da Indústria 4.0

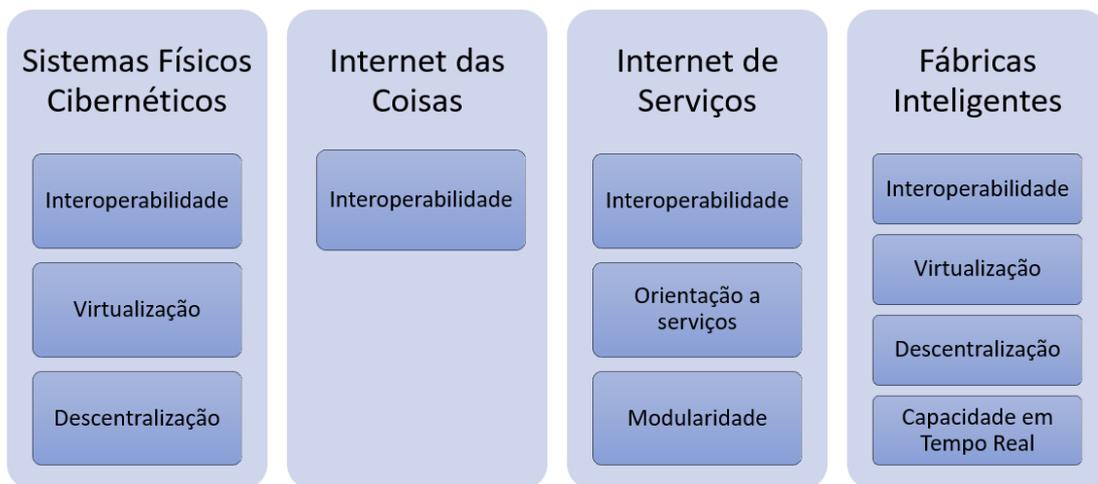
Rodrigues, Jesus e Schützer (2016) afirmam que a implantação dos conceitos e tecnologias 4.0 dentro das empresas é um processo de alta complexidade, demandando grande quantidade de tempo e planejamento. Os autores destacam ainda o fato da não existência de um roteiro pré-definido o qual as empresas possam seguir para a realização dessa transição tecnológica. Contudo, alguns autores sugerem estratégias que podem ser seguidas pelas empresas para uma correta implantação dos conceitos da indústria 4.0.

Na literatura, cada autor destaca pilares específicos a depender da sua linha de pesquisa, Almeida (2019) em seus estudos dá ênfase a três pilares: Digitalização e integração das cadeias produtivas de valor horizontal e vertical, Digitalização das ofertas de produtos e serviços, Modelos de negócio virtuais com uma estrutura de acesso ao cliente *smart factory*.

Porém, este trabalho irá focar nos pilares estabelecidos por Hermann, Pentek e Otto (2016) tendo em vista a maior notoriedade do trabalho destes autores.

Hermann, Pentek e Otto (2016) em suas pesquisas, definiram quatro componentes que são fundamentais e que tornaram possíveis a indústria 4.0: *Cyber Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS) e *Smart Factories*. Tendo como base esses quatro elementos, os autores definiram seis princípios ou pilares básicos que servem como suporte para as empresas realizarem a correta alocação de recursos na implementação dos conceitos e tecnologias da Quarta Revolução Industrial, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Relação entre os pilares e principais tecnologias da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Hermann, Pentek e Otto (2016)

O primeiro pilar que Hermann, Pentek e Otto (2016) estabelecem trata-se da interoperabilidade. Os autores definem esse pilar como sendo a capacidade de comunicação e integração entre as tecnologias e dispositivos utilizados na produção. Os principais componentes relacionados a este pilar são os sistemas CPS's e a Internet das Coisas.

O segundo pilar trata-se da virtualização, Gorecky et al. (2014) define esse pilar como sendo a capacidade que os sistemas físicos cibernéticos possuem de monitorar processos físicos. Por meio dos dados obtidos pela utilização de sensores, é possível a construção de modelos virtuais que proporcionam uma melhor visibilidade do processo em caso de falhas, como também maior liberdade para realização de otimização de linhas de produção por meio de técnicas avançadas de simulação (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Ainda sobre as técnicas de simulação, vale destacar os modelos de simulação baseados em eventos discretos, Sakurada e Miyake (2003) definem eventos discretos como aqueles cujas variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo, os autores, em seu trabalho, também realizam uma comparação entre algumas ferramentas utilizadas na indústria como o Arena 5.0 (Rockwell Softwares) e ProModel 4.22 (ProModel Corporation).

Ruy (2017) em seu trabalho afirma que o terceiro pilar, a descentralização, surge como consequência das constantes mudanças do mercado aliado à crescente demanda por produtos individuais. Desta forma, os dispositivos tornam-se capazes de tomar decisões de forma autônoma de acordo com as reais necessidades de produção.

Schlick et al. (2014) aborda o quarto pilar como sendo a capacidade de processamento instantâneo de dados, tendo em vista a minimização do tempo de reação e tomada de decisão, portanto, as falhas que ocorrem na linha de produção podem ser detectadas de forma simultânea, aumentando a segurança e a confiabilidade do processo.

Rodrigues, Jesus e Schützer (2016, p. 40) definem a orientação à serviços como “a oferta de serviços de empresas, CPS’s e seres humanos através da Internet de Serviços”, desta forma, tal pilar visa a maior inclusão do cliente no processo produtivo por meio da acessibilidade aos sistemas de informação, fazendo com que os produtos passem por processamentos específicos de acordo com a customização estabelecida pelos clientes.

Hermann, Pentek e Otto (2016) definem a modularização como último pilar, segundo os autores, esse princípio parte da premissa de que a indústria precisa se adaptar as contínuas mudanças que ocorrem no mercado. Desta forma, os módulos proporcionariam uma flexibilização na produção no contexto das fábricas inteligentes, possibilitando fáceis ajustes em situações de sazonalidade e mudanças na configuração da produção.

2.4 Principais Tecnologias

2.4.1 Internet das Coisas

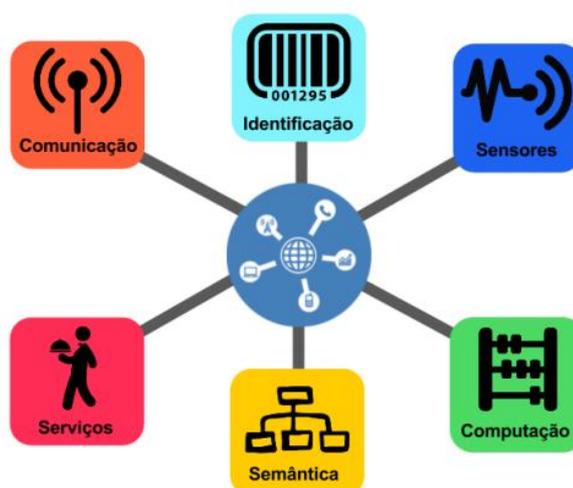
A Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* (IoT)) é o resultado dos contínuos avanços em pesquisas em diferentes áreas da computação, ela refere-se a conexão entre objetos físicos e virtuais por meio da internet. Essa tecnologia origina-se em 1999, quando um

grupo de pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) começaram a desenvolver projetos com etiquetas de radiofrequência (RFID), que por sua vez foram impulsionados com a evolução dos dispositivos móveis, comunicações *wireless* e sensores que tornaram-se cada vez menores e baratos (COELHO, 2016).

Yang, Liu e Liang (2010) afirmam que a IoT se trata de uma adaptação do *Internet Protocol* (IP) que pode ser aplicado a qualquer dispositivo, tornando-o acessível de qualquer local, desta forma, Santaella et al. (2013, p. 28) enfatiza que os dispositivos inteligentes “tendem a assumir o controle de uma série de ações do dia a dia, sem necessidade de que as pessoas estejam atentas e no comando”.

Santos et al. (2016) explica o funcionamento básico da IoT por meio de seis módulos básicos, como pode ser observado na Figura 3. A identificação é o módulo mais importante, tendo em vista a necessidade do reconhecimento dos dispositivos por meio códigos específicos para conecta-los à internet, sendo assim, os autores destacam a tecnologia de Identificação por Radiofrequência (do inglês *Radio Frequency IDentification* (RFID)), Comunicação de Campo Máximo (do inglês *Near Field Communication* (NFC)) e o endereçamento de IP para a realização da identificação.

Figura 3 - Módulos básicos da IoT



Fonte: Santos et al. (2016)

O segundo módulo trata-se dos sensores e atuadores, tais dispositivos servem para coletar e armazenar informações em centros de armazenamentos, com o auxílio dos atuadores, os objetos podem reagir de acordo com as informações coletadas pelos sensores,

possibilitando uma maior automação do processo. O terceiro módulo trata-se da comunicação, onde por sua vez destacam-se tecnologias como *WiFi* e *Bluetooth* para integração e comunicação entre os diferentes dispositivos (SANTOS et al., 2016).

O módulo de computação é o responsável pelo processamento e execução dos algoritmos que com o auxílio do módulo de serviços, é capaz de identificar dispositivos conectados na rede, agregar e sumarizar dados coletados por sensores, tomar decisões e reagir com base em informações coletadas dos processos físicos, como por exemplo uma linha de produção industrial. O módulo de semântica destaca o processo de comunicação dos dispositivos inteligentes, que por sua vez deve ser realizada com base em linguagens e protocolos padronizados (SANTOS et al., 2016).

2.4.2 Sistema Físico Cibernético

De acordo com Wang, Torngreen e Onori (2015) o termo Sistema Físico Cibernético (do inglês *Cyber Physical Systems* (CPS)) foi apresentado pela primeira vez em 2006 nos Estados Unidos, tendo em vista a necessidade da integração entre dispositivos do mundo físico aos sistemas computacionais. A tecnologia CPS pode ser definida como uma nova geração de sistemas capazes “interagir e expandir as capacidades do mundo físico por meio de computação, comunicação e controle” (EVANGELISTA et al., 2019, p. 9), desta forma a implementação desses sistemas é de grande importância para o desenvolvimento da indústria e da tecnologia da informação (LIU et al., 2017).

Berger et al. (2016) define os sistemas físicos cibernéticos como os principais facilitadores da Indústria 4.0, Grabler e Pöhler (2018) afirmam que o CPS é uma evolução dos sistemas embarcados (*Embedded Systems*), uma vez que tais sistemas não estão necessariamente conectados, como explica Coelho (2016, p. 22):

Se consideramos as redes de comunicação apenas como um poderoso facilitador, o coração dos sistemas Cyber-Physical são os sistemas de computação embutidos (*Embedded Systems*). *Embedded systems* são sistemas de processamento de informação incluídos em outros produtos ou equipamentos principais. As tarefas que até agora eram desempenhadas por computadores dedicados apenas à recolha de informação proveniente da automação tradicional, estão a ser transferidas para estes novos sistemas com dimensões e performance ajustada às novas necessidades. Os computadores, tal como os conhecemos, tendem a desaparecer criando espaço para um novo conceito de *Ubiquitous computing* (Computação omnipresente).

Segundo Evangelista et al. (2019), os sistemas físicos cibernéticos são projetados para integrar elementos do mundo físico como: máquinas, sistemas de armazenamento e instalações, possibilitando a automatização de tarefas por meio da troca de informações entre dispositivos, gerando grande impacto na manufatura e em todo o ciclo de vida do produto ou processo, pois com o CPS as máquinas tornam-se inteligentes, possibilitando uma otimização na capacidade de coordenação e melhoria no desempenho geral dos processos industriais (MONOSTORI, 2014; CAO; ZHANG. CHEN, 2017).

2.4.3 Computação em Nuvem

A computação em nuvem pode ser definida como um ambiente computacional baseado em um grande número de servidores físicos ou virtuais, esses servidores possuem uma grande quantidade de recursos como: processamento, armazenamento, conectividade, aplicativos e serviços disponibilizados na internet, portanto, trata-se de uma evolução dos centros de processamento de dados, também conhecidos como *Data Centers* (TAURION, 2009).

Khan et al. (2017) afirma que o *Big Data* surge em uma era em que os dados são gerados continuamente, tendo em vista desenvolvimento tecnológico e o aumento do número de acessos à tecnologia atualmente. No contexto da Indústria 4.0, devido a integração entre os dispositivos e a grande quantidade de informações coletadas pelos sensores, a indústria passa a ter custos elevados relativos à infraestrutura tecnológica, tendo em vista a grande quantidade de servidores que ela deverá possuir para armazenar todos seus dados.

Desta forma, Sousa, Moreira e Machado (2009) afirmam que o modelo de computação em nuvem foi desenvolvido para facilitar o acesso a serviços computacionais, reduzindo custos e proporcionando maior disponibilidade e escalabilidade dos recursos computacionais empresariais.

Silva e Pereira (2021) enfatizam a tarefa difícil que é sustentar a enorme quantidade de dados gerada pelo IoT, uma vez que essa massa de dados tende a sobrecarregar a nuvem e a rede, além disso, vale destacar a latência ou tempo de resposta das aplicações, pois uma vez que uma aplicação de IoT é hospedada na nuvem, em caso de falha, o tempo de inatividade

torna-se um problema crítico para o funcionamento desse tipo de paradigma. Desta forma, os autores destacam a computação de borda, também conhecida como *Edge Computing*

A computação de borda, segundo Lin et al. (2019), diferente da nuvem, tem como propósito a diminuição da dependência de grandes *data centers* para a análise, processamento e retorno dos dados, uma vez que esse tipo de modelo descentraliza a computação para as bordas da rede, alocando os recursos necessários próximo à fonte de dados. Portanto, esse modelo de computação traz como vantagem a diminuição da latência, a menor quantidade de dados que são levados até a nuvem, o reconhecimento de objetos em tempo real, análise simultânea de dados, como também favorece a escalabilidade da implementação de grandes redes de sensores.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho é um *Survey* realizado entre os meses de agosto e outubro de 2023. Propõe analisar os principais conceitos e tecnologias referentes à indústria 4.0, como também identificar as principais dificuldades encontradas pelas empresas em aderir a este novo conceito de manufatura.

Segundo Freitas (2000), o *survey* é uma metodologia de pesquisa para obtenção de dados sobre características, ações ou opiniões de um grupo específico de pessoas representante de uma população-alvo, sendo esta coleta de informações feita normalmente por questionários. Fink (2002) afirma que o *survey* é apropriado para responder questões do tipo “o quê”, “por que?”, “o que está acontecendo?” e “porque isso está acontecendo?”.

Pinsonneault e Kraemer (1993) classificam a metodologia *survey* em três propósitos: explanatória, exploratória e descritiva. A explanatória tem por objetivo testar teorias e relações causais, como também estabelecer essas relações e questionar sua existência. A exploratória tem o objetivo de identificar conceitos iniciais sobre um tópico, como também dar ênfase em como tais conceitos devem ser analisados. A abordagem descritiva tem a finalidade de identificar características de uma população, descrevendo a distribuição do fenômeno na população e seus subgrupos.

Este trabalho possui objetivo exploratório, uma vez que por meio de uma revisão bibliográfica, serão elencadas as principais dificuldades de as empresas aderirem aos

conceitos 4.0, em seguida, por meio de uma abordagem quantitativa, será realizado um estudo para validação/filtragem das principais dificuldades encontradas, desta forma, esta pesquisa faz uso da metodologia dedutiva, que segundo Marconi e Lakatos (2017), caracteriza-se pela definição de fenômenos particulares a partir de leis e teorias gerais.

Gil (2008, p.27) define pesquisas exploratórias como sendo aquelas cujo objetivo é desenvolver conceitos e ideias mais precisas, “é realizado especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionalizáveis”. O autor complementa ainda afirmando que o resultado deste tipo de abordagem é a simplificação de um problema, tornando-o passível de análises e procedimentos mais sistematizados.

Marques et.al (2014) estabelecem a abordagem quantitativa como sendo aquela cujos dados podem ser matematizados, possibilitando o pesquisador de fazer uso de gráficos, tabelas e ferramentas estatísticas. Sobre a abordagem quantitativa, os autores afirmam ainda que:

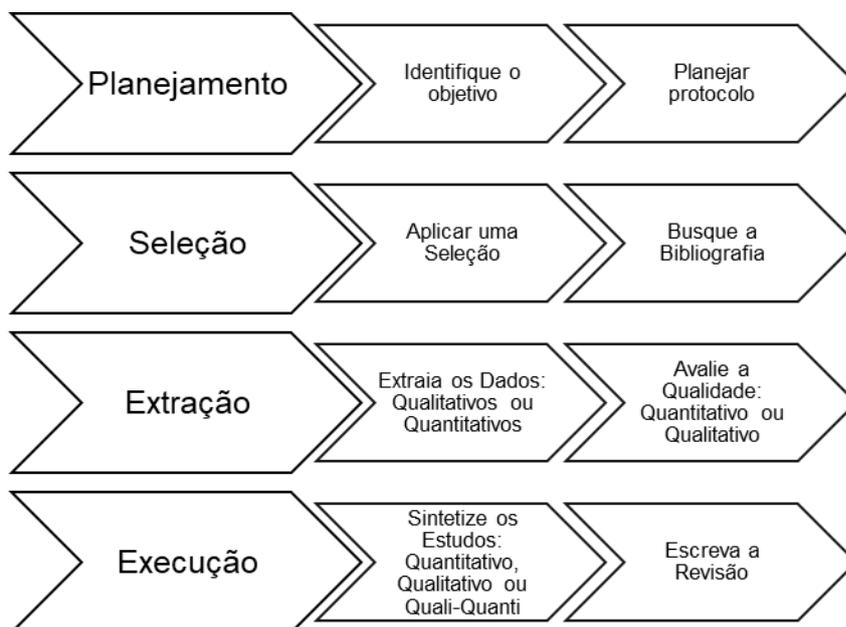
Prestam-se como instrumentos/procedimentos de coleta de dados os questionários fechados, aplicação de testes padronizados de múltipla escolha, experimentos em laboratórios e observação sistemática com registro em escala de mensuração. Alerta-se para o fato de que é sempre possível uma análise qualitativa, a partir de dados quantitativos (MARQUES et.al, 2014, p.39).

3.1 Coleta de dados

Para a realização da coleta de dados, foi utilizada a metodologia de Revisão Bibliográfica Sistêmica (RBS). Segundo Guanilo, Takahashi e Bertolozzi (2011), trata-se de uma metodologia rigorosa para identificação de estudos sobre um tema específico, fazendo uso de métodos sistematizados de busca, como também procedimentos de avaliação e validação desses estudos.

Okoli (2015) estabelece oito passos principais para a realização de uma Revisão Bibliográfica Sistêmica como mostra a Figura 4, para o autor essas etapas são essenciais para manter a rigorosidade da revisão científica e são classificadas em: identificação do objetivo, planejamento, seleção/filtragem, busca bibliográfica, extração de dados, avaliação, síntese e revisão.

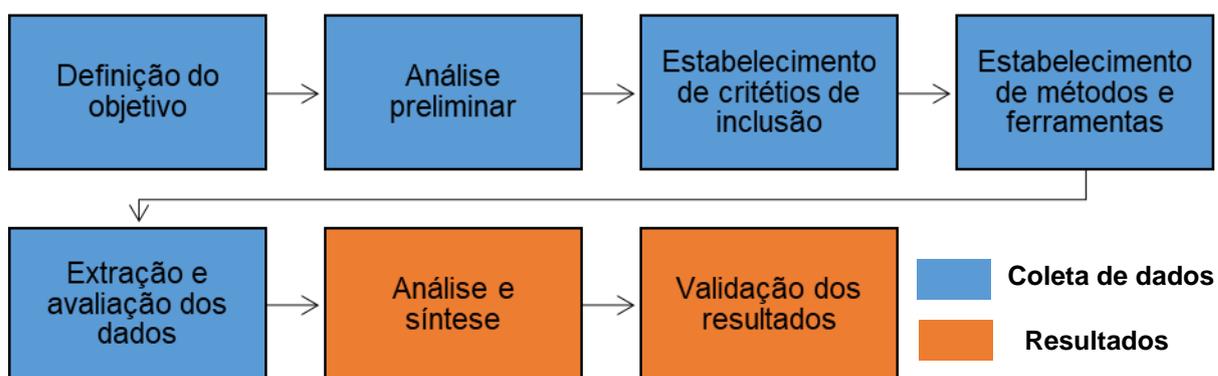
Figura 4 - Guia Sistemático para o desenvolvimento de revisão de literatura



Fonte: Adaptado de Okoli (2015)

Desta forma, baseando-se no modelo estabelecido por Okoli (2015), este trabalho pode ser dividido em sete etapas (Figura 5), podendo ser divididas em dois grupos: Coleta de Dados e Resultados.

Figura 5 - Procedimentos metodológicos



Fonte: Autor (2023)

3.1.1 Definição do objetivo

O objetivo é analisar os principais conceitos e tecnologias referentes à indústria 4.0, como também identificar estudos relacionados a dificuldade na implantação de novas

tecnologias 4.0 na indústria. Tais estudos servirão como referência para responder a seguinte questão: Quais as principais dificuldades encontradas pelas empresas em aderir aos conceitos da indústria 4.0?

3.1.2 Análise Preliminar

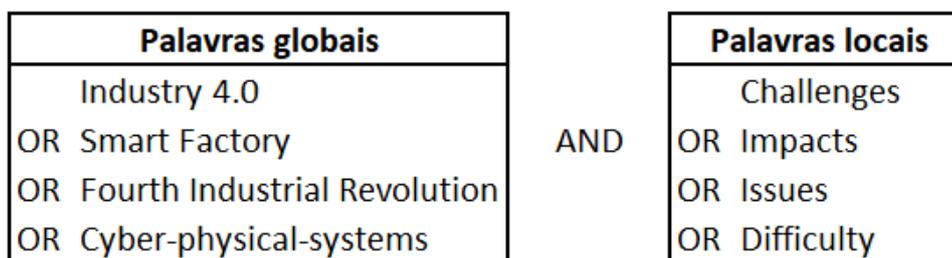
Inicialmente foi realizada uma análise inicial em materiais relacionados ao tema de interesse, tais materiais são compostos por fontes primárias de informação. Pinheiro (2006, p.2) define fontes primárias “como material original e não filtrado por interpretações”, a autora cita como exemplo os: periódicos, anais de congresso e eventos científicos, patentes, dissertações, teses, livros, entre outros.

Desta forma, a partir desta análise preliminar foi possível obter maior conhecimento e ambientação acerca do tema estudado, como também a elaboração de palavras-chave que serão usadas posteriormente para filtragem dos materiais que serão analisados.

3.1.3 Estabelecimento de critérios de inclusão

De acordo com os conhecimentos obtidos na fase de análise preliminar, foi possível estabelecer palavras-chave que servirão como mecanismo de filtragem primária dos materiais bibliográficos, tais palavras-chave foram agrupadas da seguinte maneira, como demonstra a Figura 6:

Figura 6 - Palavras-chave de busca



Fonte: Autor (2023)

Como critérios de seleção, foram considerados apenas trabalhos no idioma inglês ou português, publicados em periódicos, conferências ou capítulos de livros entre os anos de 2011 à 2023, porém, foi dada ênfase nas publicações mais recentes, com maior número de citações e no idioma inglês, tendo em vista o número de trabalhos neste idioma e a relevância das informações diante do contexto atual.

3.1.4 Estabelecimentos de métodos e ferramentas

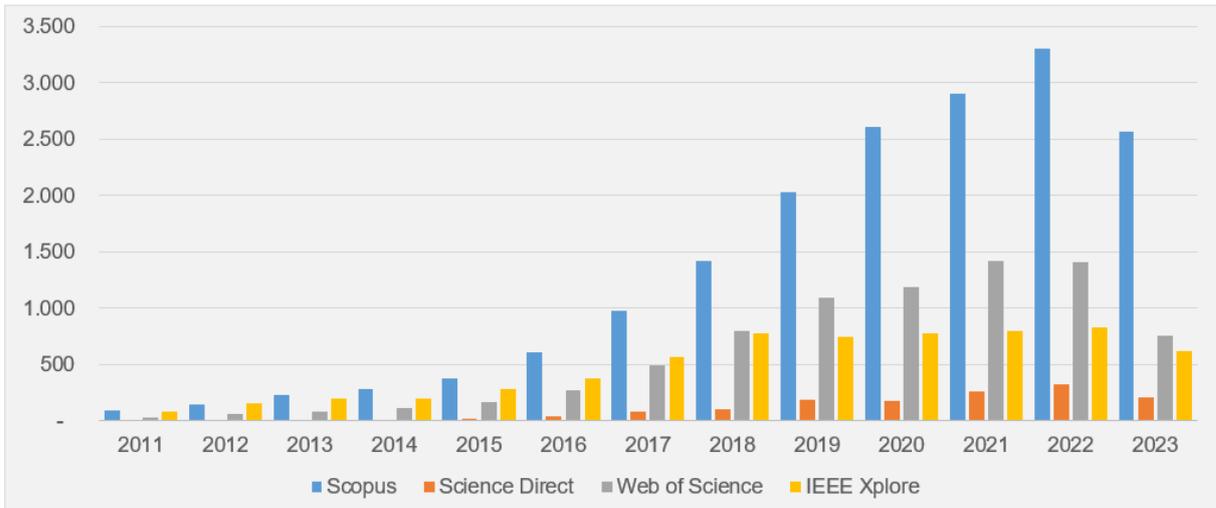
Como principal fonte de materiais bibliográficos, foram utilizados os seguintes mecanismos de busca: *Web of Science*, *Science direct*, *Scopus* e *IEEE Xplore*. Inicialmente foi realizada uma breve análise dos resumos dos materiais acadêmicos, desta forma foi feita a primeira filtragem, onde por sua vez, foram eliminadas as bibliografias que não estavam alinhadas com o problema proposto. Vale destacar que, tendo em vista a quantidade de trabalhos publicados, nessa avaliação inicial foi realizada uma amostragem em cada mecanismo de busca, onde foram selecionados os trinta principais artigos de cada mecanismo levando em consideração a relevância de cada um deles a qual foi quantificada pelo número de citações e pela proximidade do título de cada bibliografia com o tema estudado.

Em seguida, foi realizada uma avaliação mais aprofundada dos materiais bibliográficos, a fim de melhor selecionar os trabalhos para posteriormente seguir com a fase de extração dos dados, sendo esta fase, a responsável por fornecer as informações necessárias para a análise e síntese, podendo assim, gerar resultados conclusivos que possam responder a seguinte pergunta: Quais as principais dificuldades encontradas pelas empresas em aderir aos conceitos da indústria 4.0?

3.1.5 Extração e validação dos dados

Na primeira iteração de busca, por meio das palavras-chave definidas previamente, obteve-se um total de 33.228 materiais bibliográficos, sendo desses: 17.545 resultados exibidos no Scopus, 1.394 pelo Science Direct, 7.888 no Web Of Science e 6.401 no IEEE Xplore. Vale ressaltar que nessa primeira interação há o efeito da duplicidade das bibliografias, uma vez que um determinado artigo pode ou não estar indexado em mais de um mecanismo de busca.

Como pode ser observado na Figura 7, o mecanismo de busca Scopus é o que apresenta maior número de publicações, principalmente nos últimos quatro anos, onde em 2022, nota-se um aumento de 446,61% em relação ao ano de 2016. No geral, todas os mecanismos de busca escolhidos apresentam um crescimento contínuo, com exceção do IEEE cujo número de publicações ficou estável a partir de 2018.

Figura 7 - Distribuição das publicações obtidas por ano

Fonte: Autor (2023)

Na Tabela 1 a seguir são exibidos os principais formatos de documentos predominantes em cada mecanismo de busca. Na ferramenta Web of Science predomina o formato do tipo Article com 53%, enquanto o IEEE possui 73% de trabalhos apresentados em conferências, como também 22% são trabalhos publicados em Journals, enquanto os mecanismos Science Direct e Scopus retornaram bibliografias predominantemente do tipo Conference Paper, artigos científicos e capítulos de livro.

Tabela 1 - Documentos predominantes em cada mecanismo de busca

Mecanismo	Principais formatos	%
Web of Science	Article	53%
Web of Science	Meeting	30%
Web of Science	Review Article	8%
Scopus	Conference Paper	41%
Scopus	Article	39%
Scopus	Book Chapter	9%
Science Direct	Review articles	10%
Science Direct	Research articles	79%
Science Direct	Book chapters	7%
IEE Xplore	Conferences	73%
IEE Xplore	Journals	22%

Fonte: Autor (2023)

Depois da análise dos resultados obtidos foi realizada a extração dos materiais bibliográficos, levando em consideração os critérios definidos anteriormente, inicialmente foram selecionados os materiais cujos títulos melhores se enquadravam com a problemática abordada, em seguida as bibliografias passaram por uma análise mais criteriosa onde foram analisados os seus respectivos resumos, desta forma pôde-se chegar nas seguintes bibliografias, como demonstra o Quadro 1 no Apêndice.

4 RESULTADOS

De acordo com a coleta de dados realizada, pode-se perceber o crescente aumento no número de publicações relativas à Indústria 4.0. Dentre os materiais selecionados para análise, pôde-se levantar algumas barreiras que dificultam a implantação dos conceitos da Quarta Revolução Industrial.

Dentre as principais dificuldades encontradas nos materiais analisados destacam-se: problemas de *Big Data* e *IoT*, imaturidade de determinadas tecnologias e algoritmos para lidar com situações do mundo real, falta de acessibilidade e padronização entre dispositivos, qualificação profissional e fatores econômicos.

A análise dos materiais selecionados revela um desafio central relacionado ao Big Data. Conforme destacado por Lee et al. (2014), as empresas operam em um ambiente crescentemente competitivo, enfrentando dificuldades no gerenciamento de dados devido à ausência de ferramentas analíticas avançadas. Chen et al. (2015) expandem essa discussão ao abordar a Internet das Coisas (IoT) em conexão com o Big Data e a computação em nuvem, observando que máquinas podem trocar informações automaticamente, resultando na contínua geração de grandes volumes de dados. Além disso, os autores abordam questões como a heterogeneidade dos dados, a complexidade e a segurança das informações, destacando a necessidade imperativa de mecanismos eficazes e ágeis para o processamento de tais informações.

Outro problema encontrado está relacionado com a falta de aprendizado com as informações disponíveis. Essa problemática ocorre pela falta de integração entre os processos de desenvolvimento e implementação dos algoritmos de aprendizagem de máquina. Como o ambiente industrial é dinâmico, as máquinas, por meio de sensores, recebem e interpretam diferentes dados do sistema físico continuamente, onde muitas vezes, acabam processando

esses dados de maneira errada, uma vez que o algoritmo não foi capaz de prever determinada situação.

Entre as análises realizadas em diversos trabalhos, destaca-se a preocupação com a ineficiência e vulnerabilidade de sistemas de proteção de dados industriais. Com a crescente digitalização da produção, a informação se torna um recurso crucial para as empresas, tornando-as mais suscetíveis a ameaças virtuais. Como ilustrado por Sadeghi, Wachsmann e Waidner (2015), exemplos reais de invasões virtuais a sistemas críticos industriais, como um ataque a um sistema de monitoramento de uma usina nuclear nos EUA, bem como a interrupção completa de sistemas de transporte de passageiros e carga, sublinham a seriedade do problema.

Por outro lado, a pesquisa de Jing, Vasilakos, Wan et al. (2014) ressalta desafios na implementação de tecnologias relacionadas à Internet das Coisas (IoT), destacando a falta de escalabilidade, devido à alta demanda de dispositivos, juntamente com restrições de tempo, memória, processamento e energia. Além disso, os autores abordam questões sobre a transmissão de dados brutos em rede, bem como a segurança e a integridade dessas informações, enfatizando a complexidade dessa transformação tecnológica.

Dentre as problemáticas relacionadas à implantação das tecnologias 4.0, pode-se destacar a necessidade de padronização e acessibilidade, Lu (2017) afirma que para o sucesso na aplicação de tecnologias como CPS, é necessário construir um sistema flexível que permita a oferta de oportunidade igualitária de acesso, outro ponto defendido pelo autor é o desenvolvimento de algoritmos para lidar com dados, de modo a ter uma melhor abordagem para lidar com suas complexidades e heterogeneidade visando à mitigação de riscos.

Khan et al. (2017) complementa ainda que além das dificuldades relacionadas ao processamento de informações, os autores destacam os desafios da aquisição de dados, uma vez que a indústria 4.0 apresenta uma grande quantidade de dispositivos, os quais geram elevadas quantidades de dados de forma não padronizada, portanto, faz-se necessário as empresas investirem em meios de coleta, armazenamento e tratamentos de informações geradas por esses dispositivos.

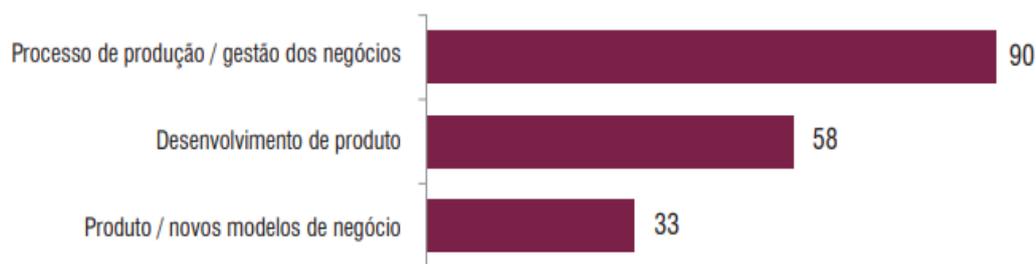
Zhou, Taigang e Lifeng (2015) afirmam que no contexto das empresas atuais, alcançar a indústria 4.0 é uma tarefa bastante difícil, sendo possível alcançá-la em aproximadamente no mínimo dez anos. Segundo os autores, a indústria 4.0 é uma visão do futuro, pois envolve muitos aspectos e desafios, dentre esses desafios os autores destacam: os desafios científicos, tecnológicos, econômicos, sociais e questões políticas.

Weyer et al. (2015) destaca a importância da qualificação profissional para o desenvolvimento da indústria 4.0, segundo os autores a ampla aplicação dos conceitos 4.0 irá exigir novas qualificações, desta forma, visando a diminuição desse desfalque profissional, os autores destacam a importância da criação de uma rede de parceiros os quais fomentem o desenvolvimento de plataformas adequadas de ensino e pesquisa.

Masood e Sonntag (2020) em suas pesquisas, procuraram estabelecer as principais dificuldades da implantação dos conceitos da indústria 4.0 em pequenas e médias empresas no Reino Unido. Em seus estudos, chegaram à conclusão de que tais empresas encontram como problema majoritário os fatores econômicos, porém trata-se de um desafio que está sendo superado aos poucos tendo em vista o aumento dos incentivos em pesquisa em desenvolvimento. Os autores enfatizam ainda a necessidade de pesquisas em aprendizado de máquina como forma de recomendação das tecnologias mais adequadas para cada empresa, levando em consideração suas principais características.

Um ponto importante que vale ser enfatizado é o fator econômico, pelo fato das tecnologias 4.0 ainda estar em processo de amadurecimento, tais recursos não são acessíveis para todas as empresas, fato que demanda muito investimento financeiro. Contudo, segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), entre os anos de 2016 e 2018, o número de grandes empresas que usam pelo menos uma das tecnologias 4.0 subiu de 63% para 73%.

Ainda segundo a pesquisa do CNI de 2018, as tecnologias mais utilizadas pelas grandes empresas brasileiras são o uso de sensores para controles de processos, e os sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos. Dentre as demais tecnologias adotadas pode-se destacar o *Big Data* e o Monitoramento e controle remoto da produção. A Figura 8 a seguir demonstra as áreas em que tais tecnologias estão sendo aplicadas.

Figura 8 - Foco do uso de tecnologias digitais (%)

Fonte: CNI (2018)

De acordo com os resultados obtidos da pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria em 2018, 90% das empresas afirmam que estão investindo em tecnologias para controle de processos de produção e gestão de negócios, 58% para o desenvolvimento de novos produtos e 33% para estabelecimento de novos modelos de negócios.

Desta forma, diante das dificuldades encontradas, pode-se perceber que tais fatores favorecem para a criação de um cenário de incertezas e inseguranças, fazendo com que o número de adesão aos conceitos e tecnologias 4.0 sejam cada vez menores, enquanto o *gap* da concorrência entre as empresas com sistemas tradicionais de produção, e as pioneiras na Quarta Revolução Industrial sejam cada vez maiores.

Contudo, mesmo diante das dificuldades levantadas, é possível destacar alguns casos de sucesso na implantação dos conceitos da indústria 4.0, como é o caso da Volkswagen, Electrolux e da Jeep com as técnicas de realidade virtual, digitalização e conectividade; Hyundai com a utilização de sistemas modulares e a Vale a qual economizou US\$ 50,5 milhões em ações como digitalização de processos e inteligência artificial (SANTOS; MANHÃES, 2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho propõe a realização de uma análise sistemática sobre os problemas enfrentados pelas empresas no contexto da Quarta Revolução Industrial. De acordo com o estudo realizado, pode-se perceber que as empresas estão inseridas em um contexto de grande competitividade, e para se destacar no mercado, elas devem procurar meios alternativos para se destacar frente a concorrência, desta forma, existe a necessidade de investir em tecnologias que aumentem seu nível de qualidade e produtividade.

Diante do estudo realizado, é notório que grande parte das empresas que optam por seguir os conceitos da Quarta Revolução Industrial precisam fazer readequações em seus processos internos, como também definir novas interfaces de interação homem-máquina, uma vez que este é um fator crítico para as operações industriais neste novo contexto tecnológico.

Com as análises iniciais dos materiais bibliográficos selecionados, pode-se concluir que dentre os problemas que as empresas enfrentam para aderir aos conceitos 4.0 são: a segurança das informações, imaturidade das tecnologias existentes, falta de tecnologia analítica para tratamento e processamento de dados e os fatores financeiros.

Dentre os problemas mais significativos, pode-se destacar a imaturidade das tecnologias 4.0 e a segurança das informações. Com o crescente avanço tecnológico, cria-se grandes expectativas sobre a aplicação destes recursos na indústria, porém, de acordo com os resultados obtidos, tais tecnologias não estão prontas para serem implantadas no ambiente industrial, tendo em vista a falta de segurança/privacidade na transferência de dados industriais, e o baixo nível de adaptabilidade de alguns algoritmos importantes para o funcionamento eficaz de sistemas e equipamentos autônomos.

Como trabalho futuro, é sugerido ampliar o escopo do material bibliográfico analisado a fim de conseguir maior rigor analítico, em seguida, tratar os dados e realizar uma pesquisa com profissionais de diferentes áreas, tendo em vista a validação dos resultados da análise bibliográfica, proporcionando maior embasamento aos resultados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, PAULO SAMUEL. **Indústria 4.0: Princípios básicos, aplicabilidade e implantação**. São Paulo: Érica, 2019.

BAHRIN, Mohd Aiman Kamarul et al. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6-13, 2016.

BERGER, Christoph et al. Characterization of cyber-physical sensor systems. **Procedia CIRP**, v. 41, p. 638-643, 2016.

CAO, Hongrui; ZHANG, Xingwu; CHEN, Xuefeng. The concept and progress of intelligent spindles: a review. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 112, p. 21-52, 2017.

CARA, Marcelo Henrique Martins. **Quarta Revolução Industrial: Um Estudo Bibliográfico da Indústria 4.0 e suas principais tecnologias inseridas**. 2019. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Campus, 2012.

CHAGURI, Lucas Ferreira. **Indústria 4.0: uma revisão sobre os requisitos mínimos para sua implementação em indústrias de processos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

CHEN, Feng et al. Data mining for the internet of things: literature review and challenges. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 11, n. 8, p. 431047, 2015.

CHENG, Chih-Hong et al. Semantic degrees for industrie 4.0 engineering: deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies. In: **Proceedings of the 2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering**. 2015. p. 1010-1013.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Investimentos na Indústria**. Ano 9. Número 1. Brasília: CNI, 2018. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br>. Acesso em: 29 out. 2023.

COELHO, Pedro; **Rumo à Indústria 4.0**. Dissertação de Mestrado –FCTU Universidade de Coimbra, Portugal, 2016.

EVANGELISTA, Gabriela Moraes Simões et al. Evolução dos Sistemas Físicos Cibernéticos referenciada nos seus requisitos: Uma Análise da Literatura. **Pesquisa na Graduação: Inserção da formação do profissional de engenharia de produção em ambiente de P&D**, p. 8. Belo Horizonte: Poisson, 2019.

FIGUEIREDO, C. M.; NETO, M. R. (2010). O engenheiro de produção e a produção artesanal: Uma alternativa na busca pelo produto individual. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGETP)**, São Paulo, Brasil.

FINK, Arlene. **The Survey Handbook**. Sage Publications: 2ªed, p.184, 2002.

FREITAS, Henrique et al. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 35, n. 3, 2000.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOECKY, Dominic et al. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In: **2014 12th IEEE international conference on industrial informatics (INDIN)**. IEEE, 2014. p. 289-294.

GUANILO, MCDLTU; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática: noções gerais. **Rev Esc Enferm USP**, v. 45, n. 5, p. 1260-6, 2011.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. National Academy of Science and Engineering, Frankfurt, 2013.

KHAN, Maqbool et al. Big Data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. In: **International Conference on Communications (ICC)**. IEEE, 2017. p. 325-331.

LEE, Jay et al. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, v. 16, n. 1, p. 3-8, 2014.

LIMA, E. C.; OLIVEIRA NETO, C. R. (2017). Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês. **Revista Espaço Acadêmico**, v.17, n.194, p.102-113.

LIN, Li et al. Computation offloading toward edge computing. **Proceedings of the IEEE**, v. 107, n. 8, p. 1584-1607, 2019.

LIU, Yang et al. Review on cyber-physical systems. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**, v. 4, n. 1, p. 27-40, 2017.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8.Ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, H.R; MANFROI, J.; CASTILHO, M.A; NOAL, M.L. Metodologia da Pesquisa e do Trabalho Científico. **Universidade Católica Dom Bosco**. 4.ed. 136p. 2014.

MONOSTORI, László. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. **Procedia Cirp**, v. 17, p. 9-13, 2014.

OKOLI, Chitu. A guide to conducting a standalone systematic literature review. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 37, n. 1, p. 43, 2015.

PINHEIRO, Lena Vânia Ribeiro. Fontes ou recursos de informação: categorias e evolução conceitual. **Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia**, v.1,n.1, 2006.

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

RENTES, A.F. Gestão de Operações, M. In: BATALHA.O (Org). **Introdução à Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. Cap 3, pg 37 – 52.

RODRIGUES, Leticia Francischini; JESUS, Rodrigo Aguiar; SCHÜTZER, Klaus. Industrie 4.0: Uma revisão da literatura. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 19, n. 38, p. 33-45, 2016.

RUY, Guilherme Ravazi. 2017. 48f. **A tomada de decisão baseada em dados na indústria 4.0: revisão sistemática**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2017.

SADEGHI, Ahmad-Reza; WACHSMANN, Christian; WAIDNER, Michael. Security and privacy challenges in industrial internet of things. In: **2015 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)**. IEEE, 2015. p. 1-6.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As revoluções industriais até a indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v.15, n.2, p.480-491, 2018.

SAKURADA, Nelson; MIYAKE, Dario Ikuo. Estudo comparativo de softwares de simulação de eventos discretos aplicados na modelagem de um exemplo de loja de serviços. **XXIII ENEGEP-Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2003.

SANTAELLA, Lucia et al. Desvelando a internet das coisas. **Revista GEMInIS**, v. 4, n. 2, p. 19-32, 2013.

SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SANTOS, Giovana Garcia. **A Indústria 4.0 e seus reflexos nas lutas pelos direitos trabalhistas**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas). Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.

SANTOS, Bruno P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 31, 2016.

SANTOS, Marcos; MANHÃES, Aline Martins; LIMA, Angélica Rodrigues. Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil. **Anais do X SIMPROD**, 2018.

SCHLICK, Jochen et al. Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: **Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik**. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014. p. 57-84.

SILVA, Carolina R.; PEREIRA, Rafael F. **Vantagens da computação de borda em redes de dispositivos IoT**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2021.

SOUSA, Flávio RC; MOREIRA, Leonardo O.; MACHADO, Javam C. Computação em nuvem: Conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. **II Escola Regional de Computação Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI)**, p. 150-175, 2009.

DE SOUSA, Juliana Carvalho; DOS SANTOS, Ana Cristina Batista. A psicodinâmica do trabalho nas fases do capitalismo: análise comparativa do taylorismo-fordismo e do toyotismo nos contextos do capitalismo burocrático e do capitalismo flexível. **Revista Ciências Administrativas**, v. 23, n. 1, p. 186-216, 2017.

TAURION, Cezar. **Cloud computing-computação em nuvem**. Brasport, 2009.

WANG, Lihui; TÖRNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, p. 517-527, 2015.

YANG, De-Li; LIU, Feng; LIANG, Yi-Duo. A survey of the internet of things. In: **Proceedings of the 1st International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI2010)**, Atlantis Press, 2010.

APÊNDICE

Quadro 1 - Artigos selecionados

	Mecanismo	Artigo	Autores	Ano
1	Web of Science	Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment	LEE, Jay et al	2014
2	Web of Science	Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook	WANG, Shiyong et al	2016
3	Web of Science	Cyber-Physical Security of a Smart Grid Infrastructure	MO, Yilin et al	2012
4	Web of Science	Security of the Internet of Things: perspectives and challenges	JING, Qi et al	2014
5	Web of Science	Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges	MONOSTORI, László	2014
6	Web of Science	Industry 4.0: state of the art and future trends	XU, Li Da; XU, Eric L.; LI, Ling	2018
7	Web of Science	Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review	ZHONG, Ray Y. et al.	2017
8	Web of Science	Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues	LU, Yang	2017
9	Web of Science	A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises	SCHUMACHER, Andreas et al	2016
10	Web of Science	A Complex View of Industry 4.0	ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz	2016
11	Web of Science	Data Mining for the Internet of Things: Literature Review and Challenges	CHEN, Feng et al	2015
12	IEEE	Personal Data Privacy Challenges of the Fourth Industrial Revolution	ONIK, Md Mehedi Hassan; CHUL-SOO, K. I. M.; JINHONG, Y. A. N. G.	2019
13	IEEE	Outlook of Requirements of Manufacturing Systems for Industry 4.0	GARBIE, Ibrahim; GARBIE, Abdelrahman	2020
14	IEEE	Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0	KHAN, Maqbool et al.	2017
15	IEEE	Cyber Physical Systems(CPS):Security Issues, Challenges and Solutions	KEERTHI, Ch Krishna; JABBAR, M. A.; SEETHARAMULU, B.	2017
16	IEEE	Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges	ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng.	2015
17	IEEE	Migration of Legacy Industrial Automation Systems in the Context of Industry 4.0- A Comparative Study	ZAWRA, Labib M.; MANSOUR, Hala A.; MESSIHA, Nagy W.	2019
18	IEEE	The Cyber-Physical Systems Revolution	SERPANOS, Dimitrios	2018
19	IEEE	Security issues in Industry 4.0	JAMAI, Intissar; AZZOUZ, Lamia Ben; SAÏDANE, Leila	2020

			Azouz	
20	IEEE	Application of Industry 4.0 towards Achieving Business Sustainability	MUNSAMY, Megashnee; TELUKDARIE, Arnesh	2018
21	IEEE	An effect analysis of industry 4.0 to higher education	BAYGIN, Mehmet et al.	2016
22	IEEE	The fourth industrial revolution - Industry 4.0 and IoT [Trends in Future I&M]	GRIFFITHS, Francis; OOI, Melanie	2018
23	IEEE	Industry 4.0: Latin America SMEs Challenges	CUELLAR, Sergio et al	2020
24	IEEE	Fourth industrial revolution and its impact on society	PEÑA-CABRERA, Mario; LOMAS, Victor; LEFRANC, Gastón	2019
25	Scopus	Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review	ZHONG, Ray Y. et al	2017
26	Scopus	The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0	WOLLSCHLAEGER, Martin; SAUTER, Thilo; JASPERNEITE, Juergen	2017
27	Scopus	Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment	LEE, Jay et al	2013
28	Scopus	Security and privacy challenges in industrial Internet of Things	SADEGHI, Ahmad-Reza; WACHSMANN, Christian; WAIDNER, Michael	2015
29	Scopus	Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems	WEYER, Stephan et al	2015
30	Scopus	Change through digitization—value creation in the age of industry 4.0	KAGERMANN, Henning	2015
31	Scopus	Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges	CHEN, Baotong et al	2017
32	Science Direct	Looking at energy through the lens of Industry 4.0: A systematic literature review of concerns and challenges	DA SILVA, Fernanda Schafer Tesch et al	2020
33	Science Direct	Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs	MASOOD, Tariq; SONNTAG, Paul.	2020
34	Science Direct	The Impact of Industry 4.0 on Supply Chains in Engineer-to-Order Industries - An Exploratory Case Study	MÜLLER, Julian M.; VOIGT, Kai-Ingo	2018
35	Science Direct	The impact of the 4th industrial revolution on the design fields of innovation management	NIEWÖHNER, Nadine et al	2020
36	Science Direct	What does Industry 4.0 mean to Supply Chain?	TJAHJONO, Benny et al	2017

37	Science Direct	Industry 4.0 and its impact in plastics industry: A literature review	ECHCHAKOUI, Saïd; BARKA, Noureddine	2020
----	-------------------	--	--	------