

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ALEC MURILO KOBNER MORO

**INDÚSTRIA 4.0 E AS SMART CITIES: UMA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE
ESSES DOIS CONTEXTOS**

PONTA GROSSA

2023

ALEC MURILO KOBNER MORO

**INDÚSTRIA 4.0 E AS SMART CITIES: UMA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE
ESSES DOIS CONTEXTOS**

**Industry 4.0 and Smart Cities: an analysis of the relationship between these
two contexts**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dra. Regina Negri Pagani.
Coorientadora: Prof. MSc. Alana Corsi.

PONTA GROSSA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ALEC MURILO KOBNER MORO

**INDÚSTRIA 4.0 E AS SMART CITIES: UMA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE
ESSES DOIS CONTEXTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 23 de novembro de 2023

Regina Negri Pagani
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Clayton Pereira de Sá
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fabiane Florencio de Souza
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2023

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho se deu mediante muito esforço, estudo, dedicação, proporcionando o enfrentamento de diversos contratemplos que serviram de lição, e gerou um enorme aprendizado ao final do percurso. Neste sentido, cabe aqui agradecer a todos que contribuíram, cada qual à sua maneira, para o alcance dos resultados obtidos.

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por todas as bênçãos a mim concebidas, pela força e proteção que me permitiram chegar até aqui.

Aos meus pais, por toda dedicação, amor, educação e investimento, que me proporcionaram diversas oportunidades na busca pelo sucesso. Sou muito grato aos seus esforços e, principalmente, à paciência nos momentos de dificuldade.

À minha querida namorada, por todo o apoio e amor a mim dados. Seu carinho e incentivo nos momentos de fraqueza foram combustíveis para o alcance deste objetivo.

À minha orientadora Regina e à minha coorientadora Alana pelas inúmeras contribuições que fizeram total diferença no resultado deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao seu corpo docente pelo comprometimento em transmitir o ensino com qualidade e excelência.

E por fim, aos meus amigos e colegas que tive a oportunidade de conviver durante todos esses anos, que me proporcionaram momentos inesquecíveis e tornaram a jornada acadêmica mais leve e prazerosa.

RESUMO

Tanto os modelos de indústria quanto os de urbanização e formação de cidades vêm sofrendo alterações. No contexto das indústrias, a estratégia mais recente é a aplicação do conceito Indústria 4.0 que, a partir de pilares tecnológicos, visa a automação do processo, flexibilização da produção, redução de desperdícios e aumento de qualidade. Já no âmbito das cidades, os modelos sofreram evolução até a definição de *Smart Cities* que, por meio de implementação de tecnologias inteligentes, visa promover melhor qualidade de vida, bem-estar, e desenvolvimento econômico, reivindicando o respeito aos limites ambientais. Além disso, nesse modelo de cidade o cidadão é um dos atores centrais, sendo participativo. Embora ambos os conceitos apresentem como base a promoção do desenvolvimento altamente tecnológico, não há uma relação clara entre eles, bem como os impactos dessa relação. Assim, o objetivo do presente estudo é identificar a relação entre Indústria 4.0 e *Smart Cities* e os impactos dessa relação para a sociedade. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática de literatura utilizando a metodologia multicritério *Methodi Ordinatio*, que permite construir um portfólio robusto de artigos. A metodologia estabelecida resultou em um portfólio composto por 30 artigos, o qual foi base para as coletas e análises de dados. Os resultados foram apresentados em duas etapas, sendo a primeira as análises bibliométricas, as quais contextualizaram o portfólio, identificando que os temas são centrados em tecnologias, e a segunda, a análise de conteúdo, a qual identificou as principais tecnologias presentes em ambos os contextos, além dos maiores desafios e oportunidades desse relacionamento, permitindo assim, atingir o objetivo deste estudo.

Palavras-chave: indústria 4.0; *smart cities*; requisitos; tecnologias; revisão sistemática de literatura.

ABSTRACT

Both the industry and models of urbanization and formation of cities have been through changes. In the industries context, the most recent strategy is the application of the Industry 4.0 concept, which seeks to achieve, based on technological pillars aims, the process automatization, production flexibility, waste reduction and increasing quality. Regarding cities, the models evolved to the definition of smart cities, which through smart technologies implementation, intends to promote better life quality, well-being, economic development, respecting environmental requirements. Furthermore, in this model of city, the citizen is one of the central actors, having an active role. Although both concepts are based on promoting highly technological development, there is no clear relationship between them, as well as the impact of this relationship. Thus, the goal of this study is to identify the relationship between Industry 4.0 and Smart Cities and the impacts of this relationship on society. Therefore, allowing us to understand the benefits and challenges that this relationship results from. For that, a Systematic Literature Review was carried out, using the Methodi Ordinatio multicriteria methodology. Which through three factors with scientific relevance, allows the construction of an articles portfolio. This set methodology resulted in a portfolio consisting of 30 articles with scientific relevance, which was the basis for data collection and analysis. The results were presented in two stages, the first one being bibliometric analysis, which contextualized the portfolio, identifying that the themes are centered on technologies, and the second, with content analysis, which identified the main technologies present in both contexts, as well as the greatest challenges and opportunities of this relationship, thus enabling the objective of this study to be achieved.

Keywords: industry 4.0; smart cities; requirements; technologies; systematic literature review.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução histórica da indústria	14
Figura 2 - Pilares tecnológicos da Indústria 4.0.....	17
Figura 3 - Domínios das <i>Smart Cities</i>	25
Figura 4 - Classificação da presente pesquisa.....	28
Figura 5 - Procedimentos realizados para construção do portfólio de artigos	30
Figura 6 - Tendência de publicação ao longo dos anos	34
Figura 7 - Rede de autores do portfólio	36
Figura 8 - Rede de palavras-chave do portfólio.....	37
Figura 9 - Principais termos mencionados ao longo dos artigos	38
Figura 10 - Procedimentos e análise de conteúdo	39
Figura 11 - Principais tecnologias mencionadas no portfólio.....	52
Figura 12 - Tecnologias, objetivos e desafios da I4.0	57
Figura 13 - Domínios, objetivos e impulsionadores para o desenvolvimento das Smart Cities.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais benefícios da Indústria 4.0.....	20
Quadro 2 - Principais barreiras da Indústria 4.0.....	21
Quadro 3 - Definições de Smart City.....	24
Quadro 4 - Definições dos autores do portfólio sobre o tema Indústria 4.0.....	49
Quadro 5 - Definições dos autores do portfólio sobre o tema Smart Cities.....	59
Quadro 6 – Resultados que respondem aos objetivos do presente trabalho.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da busca definitiva nas bases de dados.....	31
Tabela 2 - Resultados após os procedimentos de filtragem.....	31
Tabela 3 - Resultados do portfólio depois da exclusão pós ordenação	32
Tabela 4 - Principais revistas do portfólio de artigos	35
Tabela 5 - Portfólio final de artigos ordenados pelo InOrdinatio2.0	83

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AI	<i>Artificial Intelligence</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAVs	<i>Connected and Autonomous Vehicles</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CP-ABE	<i>Ciphertext-Policy Attribute-Based Encryption</i>
DA	<i>Data Analytics</i>
DT	<i>Digital Twin</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FC	<i>Fog Computing</i>
HMM	<i>Hidden Markov Model</i>
I4.0	Indústria 4.0
IoE	<i>Internet of Everything</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
JCR	<i>Journal Citation Report</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
MaaS	<i>Mobility as a Service</i>
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PAVs	<i>Personal Air Vehicles</i>
PIB	Produto interno bruto
PMEs	Pequenas e médias empresas
SC	<i>Smart Cities</i>
SJR	<i>SCImago Journal Rank</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UAVs	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
VCTD	<i>VERIS Community Database</i>
VERIS	<i>Vocabulary for Event Recording and Incident Sharing</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
WTP	<i>Wireless Power Transfer</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA	12
1.2 OBJETIVO GERAL	12
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4 JUSTIFICATIVA	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INDÚSTRIA	14
2.1.1 Indústria 4.0	16
2.2 O DESENVOLVIMENTO DAS CIDADES	22
2.2.1 Smart Cities	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	27
3.2 CONSTRUÇÃO DO PORTFÓLIO DE ARTIGOS CIENTÍFICOS	29
3.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 ANÁLISES BIBLIOMÉTRICAS	34
4.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO	39
4.2.1 Análise dos Objetivos do Portfólio	39
4.2.2 Indústria 4.0: Definições e Tecnologias	48
4.2.2.1 Tecnologias mais recorrentes no portfólio	51
4.2.3 Smart Cities: Definições e Dimensões	57
4.2.4 Relação entre Smart Cities e Indústria 4.0	63
4.2.4.1 Desafios do relacionamento entre Smart Cities e Indústria 4.0	66
4.2.4.2 Oportunidades do relacionamento entre Smart Cities e Indústria 4.0	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICE A - Portfólio de artigos ordenados	82

1 INTRODUÇÃO

Tanto a indústria quanto as cidades vêm sofrendo profundas transformações ao longo das últimas décadas. O setor industrial passou por quatro grandes revoluções, resultando no processo produtivo atual, conhecido como Indústria 4.0. As cidades, por sua vez, passaram de pequenos assentamentos para grandes centros urbanos e neste contexto evolutivo, principalmente em países mais desenvolvidos, surgiram as *Smart Cities* como uma estratégia para a promoção do desenvolvimento tecnológico e sustentável das grandes aglomerações urbanas.

A Indústria 4.0, caracterizada como uma revolução digital, tem por característica a crescente informatização das indústrias, conectando os objetos físicos de forma transparente à rede de informações (SMIT *et al.*, 2016). Para Zhou, Liu e Zhou (2015) essa criação de sistemas ciberfísicos permite que as indústrias se tornem inteligentes, melhorando seu desempenho, flexibilidade e robustez.

Esse estágio industrial tem por base a aplicação de nove pilares tecnológicos, sendo eles: robótica autônoma; simulação; integração de sistemas, *Internet of Things* (IoT), cibersegurança, impressão 3D; computação em nuvem; Big Data; e realidade aumentada. RÜßMANN *et al.* (2015) afirmam que essas tecnologias aliadas transformarão o ambiente produtivo, facilitando a análise de dados e permitindo processos agilizados, flexíveis e eficientes, que produzirão bens de maior qualidade com menores custos.

O uso dessas tecnologias passa também pelo ambiente das cidades e seus habitantes, sendo um dos fatores principais para a criação das chamadas *Smart Cities*. Esse novo modelo de cidade, envolve, principalmente o uso das tecnologias da informação e comunicação na solução dos problemas urbanos. As *Smart Cities* fornecem meios para a economia prosperar, a sociedade se tornar mais homogênea, e os ambientes se tornarem mais sustentáveis, por meio de boas práticas de governança (YIGITCANLAR, 2015). Portanto, muitas tecnologias da Indústria 4.0 são utilizadas nas *Smart Cities*, porém com o foco mais voltado em beneficiar os cidadãos e os governos.

1.1 PROBLEMA

Os dois pontos centrais de abordagem deste trabalho, que são a indústria e as cidades, sofreram alterações ao longo das últimas décadas. Esses dois pontos são também centrais no cotidiano das sociedades, tendo em vista que o objetivo principal das indústrias é prover produtos aos cidadãos que habitam em aglomerações. Neste contexto, surge a problemática da pesquisa: De que forma os conceitos de Indústria 4.0 e Smart Cities se relacionam e quais os impactos dessa relação para a sociedade?

Diante do contexto apresentado, erigiu-se os objetivos desta pesquisa, a seguir apresentados.

1.2 OBJETIVO GERAL

Identificar a relação entre Indústria 4.0 e *Smart Cities* e os impactos dessa relação para a sociedade.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Contextualizar o cenário científico acerca da Indústria 4.0 e *Smart Cities*;

OE2: Compreender os aspectos específicos da Indústria 4.0, com seus requisitos e tecnologias;

OE3: Mapear as principais estruturas que compõem *Smart Cities*;

OE4: Identificar as tecnologias e técnicas aplicadas em ambos os conceitos, apontando seus resultados por meio dos benefícios e desafios em suas interações.

1.4 JUSTIFICATIVA

Embora os conceitos de Indústria 4.0 e *Smart Cities* sejam bastante difundidos e seus interesses sejam comuns, a relação e integração de ambos os conceitos não é tão evidente. Verifica-se que esses dois temas apresentam os aspectos tecnológicos como centrais para o seu desenvolvimento e, portanto, o presente trabalho busca, por meio de uma revisão sistemática de literatura, identificar a relação entre Indústria 4.0 e *Smart Cities*, buscando compreender quais os impactos são observados com a

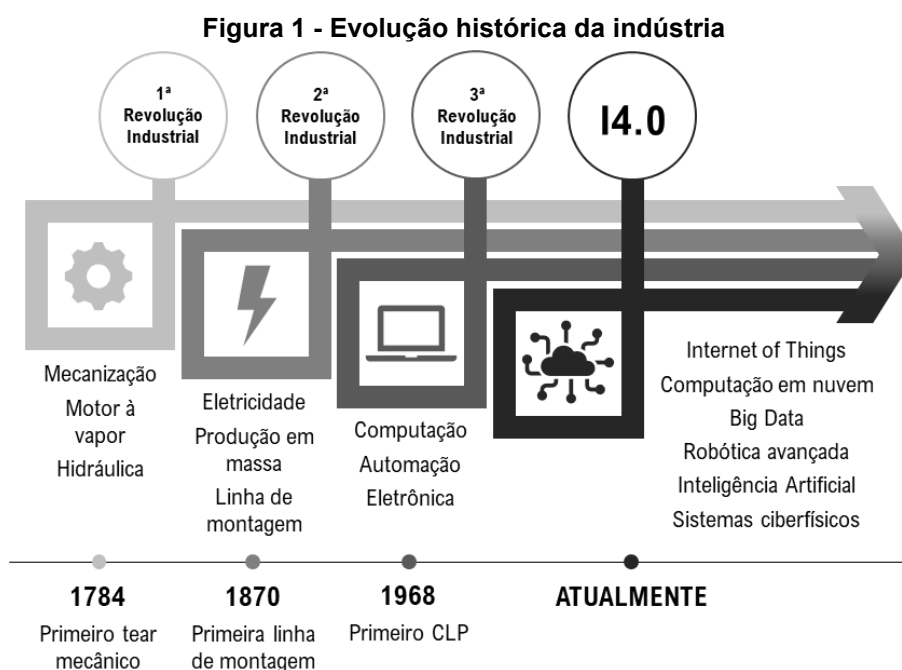
relação, por meio dos resultados positivos e principais desafios que eles podem gerar para a sociedade, economia e meio ambiente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As conceituações de Indústria 4.0 (I4.0) e *Smart Cities* (SC) são bastante conhecidas, e embora ambos os conceitos se embasem na aplicação tecnológica, a relação de mútuo benefício não é evidente. Assim, visto que a presente pesquisa tem por objetivo identificar a correlação entre os conceitos de SC e I4.0, faz-se necessário a compreensão dos temas envolvidos. Dessa forma, as próximas seções foram reservadas a fim de definir Indústria 4.0 e *Smart Cities*, permitindo então, que posteriormente seja feita a correlação entre os temas.

2.1 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INDÚSTRIA

Lasi *et al.* (2014) afirmam que a indústria é a parte da economia que produz bens materiais altamente mecanizados e automatizados e explica que desde o início da industrialização ocorreram saltos tecnológicos, que resultaram em mudanças de paradigma, conhecidos como revoluções industriais. Até o fim do século XVIII os processos produtivos eram realizados de forma bastante artesanal. Com o início da industrialização ocorreu a Primeira Revolução Industrial, a qual foi sucedida de mais três revoluções, sendo a última, e atual, chamada de Indústria 4.0, conforme ilustrado na Figura 1.



Fonte: Autoria própria (2023)

A Primeira Revolução Industrial iniciou-se no final do século XVIII e perdurou até meados do século XIX, na Inglaterra. Foi marcada pela substituição progressiva dos métodos artesanais por operações mecanizadas, dando início à industrialização. O crescimento das cidades, que promoveu a concentração da mão de obra, recursos técnicos e insumos, aliado à evolução dos processos fabris, com o advento das máquinas à vapor, permitiu o aumento do volume de produção por parte das fábricas (SACOMANO *et al.*, 2018; DE ALMEIDA, 2019).

No final no século XIX a eletricidade foi introduzida nos sistemas produtivos, dando início à Segunda Revolução Industrial. Evoluções no campo das indústrias química, elétrica e do aço foram fundamentais na modernização das máquinas e equipamentos industriais, no avanço dos meios de comunicação e na modernização dos meios de transporte (QUINTINO, 2019). Outro marco importante da Indústria 2.0 foi o desenvolvimento da racionalização e divisão do trabalho por Frederick Taylor (1856-1915), que mais tarde teve suas práticas adaptadas para a indústria automotiva nos Estados Unidos, por Henry Ford (1863-1947), surgindo assim, o sistema de produção em massa (FERREIRA; REIS; PEREIRA, 2011).

Yülek (2018) explica que a introdução do primeiro Controlador Lógico Programável (CLP), no ano de 1968, marca o início da Terceira Revolução Industrial, a qual é conhecida pela automatização e controle dos processos fabris. Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão encontrava-se em estado crítico de recursos, o que levou o governo japonês a incentivar a redução de desperdícios. Surge, então, um novo modelo de produção, caracterizado pela produção flexível. Este, conhecido como Modelo Toyota de Produção ou Produção Enxuta, visa a eliminação de perdas, produção puxada, padronização e redução de estoques (SACOMANO *et al.*, 2018; QUINTINO, 2019).

Por fim, a Quarta Revolução Industrial, mais conhecida como Indústria 4.0, surgiu em 2011, a partir de um projeto do governo alemão, e baseia-se, principalmente, em sistemas ciberfísicos, na análise de Big Data e na *Internet of Things* (Internet das Coisas) (IoT) (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019). De acordo com o Ministério Federal da Economia e Energia da Alemanha (BFWUE, 2018), a tecnologia da informação vem sendo incorporada aos negócios desde os anos 1970 e, portanto, não é o computador o elemento chave da Indústria 4.0, mas sim a internet.

A I4.0 é o modelo de produção em vigência, sendo também alvo da presente pesquisa. Assim, a seção seguinte (2.1.1) irá explorar seus conceitos, pilares, princípios e desafios.

2.1.1 Indústria 4.0

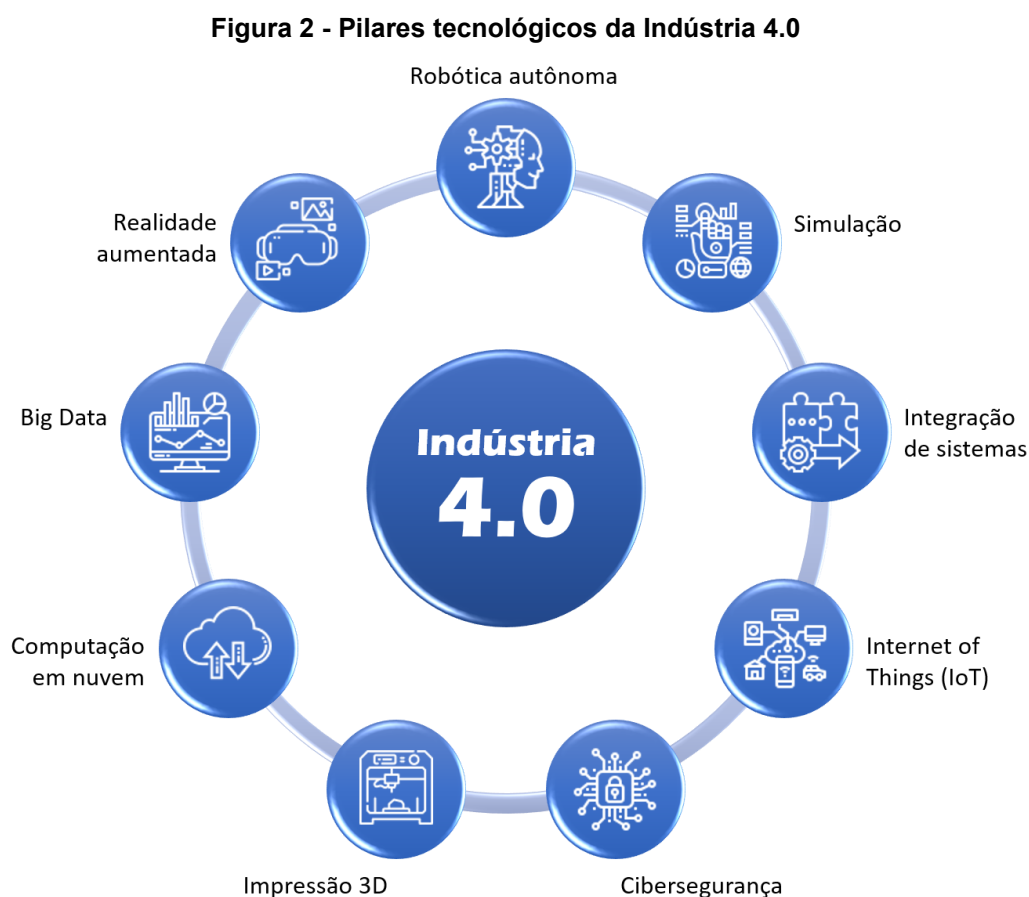
O termo “Indústria 4.0” foi citado pela primeira vez em 2011 em um artigo publicado pelo governo alemão, o qual deu início a um projeto institucional em parceria com empresas e universidades alemãs, intitulado de *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0) e lançado na Feira de Hannover de 2013 (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015).

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) explicam que a rede vertical, a engenharia ponta a ponta e a integração horizontal de toda a cadeia de valor, assim como o surgimento de sistemas cada vez mais inteligentes, permitiram o início do quarto estágio da industrialização, a Indústria 4.0. Drath e Horch (2014) afirmam que que Indústria 4.0 faz referência à Quarta Revolução Industrial e pode ser entendido como a aplicação do conceito de sistemas ciberfísicos aos sistemas de produção industrial. Smit *et al.* (2016) definem a Indústria 4.0 como um modelo de fábrica inteligente, onde sistemas computacionais monitoram os processos físicos, fazem uma cópia virtual do mundo físico e tomam decisões descentralizadas por meio de mecanismos de auto-organização. No Brasil, a Indústria 4.0 é caracterizada, pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), por sua integração e controle a partir de sensores e equipamentos conectados à internet e pela fusão do mundo real e virtual por meio da utilização dos sistemas ciberfísicos na indústria (CNI, 2016).

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) elucidam que a Indústria 4.0 garantirá uma maior flexibilidade, robustez e qualidade aos mais diversos setores e processos industriais, e terá por consequência cadeias de valor totalmente dinâmicas e autorreguláveis. As fábricas serão conversíveis, ou seja, serão construídas em módulos de forma a melhorarem sua eficiência, a produção será flexível em razão das máquinas estarem todas conectadas em rede, e o suporte aos dados, em todo o ciclo de vida dos produtos, permitirá o desenvolvimento de uma economia circular eficiente (BFWUE, 2018).

Conforme MacDougall (2014), a Indústria 4.0 representa uma mudança de paradigma da produção centralizada para a produção descentralizada, e essa reversão da lógica do processo de produção tradicional somente foi possibilitada devido aos avanços tecnológicos, que agora permitem que máquina e produto se comuniquem para saber a melhor forma de realizar uma tarefa. Rüßmann *et al.* (2015) descrevem as nove tecnologias, que são os pilares da I4.0, as quais, utilizadas de forma conjunta, transformarão o ambiente produtivo, gerando um fluxo de produção totalmente integrado e automatizado, melhorando a eficiência e alterando as relações fornecedor-produtor-cliente e homem-máquina.

Os nove pilares tecnológicos, os quais a Indústria 4.0 se apoia, são ilustrados, conforme Figura 2, e descritos a seguir.



Fonte: Autoria própria (2023)

- Robótica autônoma: desde a 3ª Revolução Industrial a robótica é uma tecnologia muito presente nas indústrias, porém na Indústria 4.0 ela assume um papel diferenciado. Agora, com a Robótica Colaborativa,

robôs e humanos podem dividir o mesmo espaço de trabalho de forma segura (QUINTINO, 2019), além de interagirem de maneira a permitir com que o robô, por meio de algoritmos de inteligência artificial, aprenda com seu colega humano e otimize o seu trabalho de forma independente, completando as suas tarefas de forma inteligente, segura e flexível (BAHRIN *et al.*, 2016).

- Simulação: inclui os métodos, ferramentas e técnicas necessárias para representar, experimentar e estudar os sistemas complexos do mundo real em computador, antes mesmo deles serem implementados. Com isso, espera-se que haja economia de tempo e valor, visto que ocorre a detecção de erros previamente, permitindo correções, bem como a otimização dos sistemas (SCHEIDEGGER *et al.*, 2018).
- Integração de sistemas: trata-se da integração de todos os sistemas que compõe a cadeia produtiva, tanto verticalmente, envolvendo fornecedores e clientes, como horizontalmente, abrangendo todos os setores da empresa, facilitando o compartilhamento de dados e informações por meio dos Sistemas de Gestão Integrado, do inglês *Enterprise Resource Planning* (ERP), favorecendo a tomada de decisão (QUINTINO, 2019).
- Internet of Things (IoT): o *International Telecommunication Union* (União Internacional de Telecomunicações - ITU), agência da Organização das Nações Unidas (ONU) especializada em Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), redigiu o documento *Recommendation ITU-T Y.2060* (ITU-T, 2012), com o intuito de normatizar a IoT. Conforme o documento, *Internet of Things* refere-se, de forma técnica, a uma infraestrutura global, que ao interconectar coisas físicas e virtuais, permite serviços avançados baseando-se em TIC. Sacomano *et al.* (2018) afirma que a IoT consiste em conectar objetos do dia a dia à internet, como veículos, eletrodomésticos e máquinas, de maneira a serem acessados remotamente por dispositivos que tenham conexão com a internet, como celulares, notebooks, tablets ou desktops. O autor afirma que a internet inicialmente foi projetada para que humanos pudessem se comunicar através da rede, e na IoT a diferença é que a comunicação pode ser

feita entre “coisas”. Essa comunicação ocorre por meio de um protocolo de integração, que permite, por exemplo, que uma máquina leia uma mensagem codificada de outra máquina fonte e se autoajuste de forma a realizar a sua tarefa.

- **Cibersegurança:** para Sacomano *et al.* (2018), a segurança da informação pode ser compreendida como uma técnica de gestão dos riscos que promove a preservação da integridade, confidencialidade e disponibilidade da informação e, portanto, a cibersegurança tem as mesmas funções, mas agora agindo sobre o ambiente cibernético da Indústria 4.0. Tal tecnologia tem como objetivo proteger os hardwares, softwares e dados armazenados nos sistemas.
- **Impressão 3D:** também conhecida como manufatura aditiva, ela envolve a obtenção de peças, por meio da disposição de material camada por camada. Para isso, por meio de um software computacional, um desenho 3D é feito e enviado ao software de programação da impressora, que o interpreta e o reproduz em forma de produto, com detalhes e dimensões precisas, a depender da resolução da máquina (DE ALMEIDA, 2019).
- **Computação em nuvem:** Rimal *et al.* (2011) a definem como um modelo de prestação de serviços escaláveis e de acesso a recursos virtualizados que são fornecidos através da Internet, onde os clientes pagam apenas pelo que efetivamente usam. Ao passo em que as tecnologias de nuvem estão melhorando, as indústrias inteligentes também estão exigindo maiores níveis de compartilhamento de dados e informações, o que significa que, cada vez mais, elas terão que se utilizar de soluções baseadas em nuvem (RÜßMANN *et al.*, 2015).
- **Big Data:** o termo Big Data pode ser definido como sendo ativos de informação gerados em alto volume, alta velocidade e alta variedade, que demandam formas de processamento inovadoras e economicamente viáveis, para maior compreensão e tomada de decisão (BIG DATA, 2021). O processamento dessas informações é feito por meio da análise de dados, do inglês *Data Analytics* (DA), que são, na sua grande maioria, algoritmos de predição capazes de detectar correlações, tendências de mercado, preferências dos

clientes e outras informações (ERBOZ, 2016), e tem como objetivo transformar dados brutos em informações interpretadas (HU *et al.*, 2014).

- Realidade aumentada: mesmo sendo um dos pilares tecnológicos menos desenvolvidos da I4.0, possui diversas aplicações tanto para a indústria, como para os setores do varejo e do entretenimento. É definido, por Azuma (1997), como uma tecnologia que complementa a realidade, permitindo com que o usuário enxergue o mundo real com objetos virtuais, que o compõe ou sobrepõe o ambiente, e possui três características principais: combina o real e o virtual; apresenta-se em três dimensões; e permite a interação em tempo real.

Essas tecnologias aliadas trarão benefícios para as mais variadas aplicações no cenário produtivo da I4.0, mas por se tratar de um estágio industrial ainda em transformação, diversas são as barreiras apresentadas para sua implementação.

Por meio de uma série de entrevistas realizadas com diversos gerentes de indústrias alemãs, de diferentes tamanhos e setores industriais, Kiel, Müller e Arnold (2017) analisaram e identificaram os maiores benefícios e barreiras da I4.0. Dentre os benefícios constatados pelos autores, os principais apresentam-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais benefícios da Indústria 4.0

Benefícios da I4.0	
Competitividade	Garantia da participação de mercado e expansão
	Posição de pioneirismo em mercados e tecnologias
	Diferenciação estratégica e vantagem competitiva com base em inovação
Finança	Criação de valor aprimorada e crescimento de vendas
	Diversos potenciais de redução de custos
Eficácia do equipamento	Otimização do produto e qualidade do processo
	Maior produtividade, disponibilidade e robustez
	Menores índices de falhas
	Auto otimização e autoconfiguração de máquinas
Novos modelos de negócio	Soluções híbridas de produtos e serviços
	Integração de softwares
	Modelos baseados em plataforma ou de pagamento por uso
Eficiência de recursos	Otimização do uso de recursos
	Simulações e dados contínuos permitem processos enxutos
	Redução das atividades manuais devido aos níveis de automação

Fonte: Adaptado de Kiel, Müller e Arnold (2017)

Conforme discutido pelos autores, os benefícios mais frequentes dizem respeito à eficiência de máquinas, processos e recursos e em menor frequência são identificados alguns benefícios que afetam diretamente a força de trabalho. Essa ideia também é verificada por Da Silva *et al.* (2019), em uma revisão sistemática de literatura, na qual identificam que os principais benefícios da I4.0 é baseada na melhoria da eficiência produtiva e da utilização de recursos, demonstrando maiores impactos nos eixos econômico e ambiental, detectando, assim, a necessidade de intensificar melhorias às atividades humanas.

Por outro lado, as principais barreiras, dentre as identificadas por Kiel, Müller e Arnold (2017), são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais barreiras da Indústria 4.0

Barreiras da I4.0	
Integração técnica	Implementação de infraestrutura de tecnologia de informação moderna
	Padronização de protocolos de comunicação abrangendo toda a indústria
	Tecnologias imaturas ameaçam a qualidade do produto e do processo
Transformação organizacional	Criação de uma cultura organizacional e estrutura hierárquica adaptáveis e flexíveis
	Envolvimento da alta direção e convencimento dos <i>stakeholders</i> internos
	Compreensão semântica da I4.0 por parte de todos
Segurança de dados	Garantir a segurança de dados e informação dentro da cadeia de valor
	Acesso inseguro aos dados predispõe as empresas aos ataques cibernéticos e à espionagem industrial
Concorrência	Aumento da dinâmica e mudança de ambientes competitivos
	Equilíbrio do mercado modificado pela criação de novas áreas de negócio
	A mudança dos limites da indústria facilita a entrada de novos concorrentes
Cooperação	A conexão de toda a cadeia requer maior cooperação, confiança e o emprego de tecnologias compatíveis entre as empresas
	Necessidade de um maior envolvimento de clientes e fornecedores na criação de valor

Fonte: Adaptado de Kiel, Müller e Arnold (2017)

Os principais desafios da I4.0 são aspectos técnicos, relacionados à infraestrutura e padronização de tecnologias da informação, à segurança de dados e à viabilidade de conexão, assim como os aspectos humanos, relacionados à transformação organizacional e qualificação pessoal, bem como os aspectos de competitividade, que incluem o aumento da concorrência e a necessidade de

cooperação entre empresas, clientes e fornecedores na criação de valor conjunto para os produtos e/ou serviços.

2.2 O DESENVOLVIMENTO DAS CIDADES

Conforme Musterd e Ostendorf (2004), as cidades sofrem uma constante transformação, mas olhando ao longo da história é possível identificar algumas mudanças importantes na forma como elas passaram a se organizar. Antes da industrialização, o que existia eram, basicamente, assentamentos compactos de sobrevivência, que se utilizavam de funções agrícolas básicas e pequenos comércios. A industrialização acelerou a urbanização e transformou os assentamentos em centros de manufatura, sendo considerada como um dos fatores de maior influência para a formação das cidades (BAYULKEN; HUISINGH, 2015). Após a Segunda Guerra Mundial elas se tornaram grandes regiões urbanas caracterizadas pela troca de bens e produtos e, atualmente, na era da globalização, as cidades são caracterizadas pela troca de informação (MUSTERD; OSTENDORF, 2004).

As cidades são ecossistemas complexos, que englobam diferentes *stakeholders* com interesses distintos, os quais são forçados a colaborar, a fim de assegurar um ambiente sustentável (CAPDEVILA; ZARLENGA, 2015), motivados por fatores como religião, política e industrialização (MACHADO JUNIOR *et al.*, 2018). Além disso, as cidades permitem que o empreendedorismo e a inovação tecnológica prosperem, visto que apresentam força de trabalho diversificada e capacitada, servindo como polos de desenvolvimento, promovendo infraestrutura adequada para a troca de conhecimento e informação (UN, 2019).

De acordo com UN (2019) as cidades, cada vez mais, concentram as atividades econômicas e de inovação, estimulando o processo de urbanização. Esse processo socioeconômico se caracteriza pela conversão de áreas rurais em urbanas, ao passo que populações, antes rurais, passam a residir áreas urbanas, gerando mudanças de comportamento, estilo de vida e cultura. O grau de urbanização é expresso como a porcentagem da população residente em áreas urbanas. Conforme dados do relatório “World Urbanization Prospects: The 2018 Revision” (UN, 2019), realizado pela ONU, 30% da população mundial era urbana em 1950, crescendo para 55% em 2018, com expectativa de atingir 68% em 2050.

O crescimento dos centros urbanos é acompanhado do desenvolvimento social e econômico, e resulta tanto no aumento da população das cidades, como no aumento das cidades em si (FIRDAUS, 2012). Conseqüentemente, a acelerada urbanização resulta no aumento das demandas sociais por infraestrutura urbana, bem como por serviços essenciais, gerando pressões sobre a proteção ambiental e, conseqüentemente, sobre a utilização de recursos (LI *et al.*, 2019), ameaçando impactar negativamente nos habitats naturais e na biodiversidade, e majorando emissões de gases nocivos e utilização de terras (UN, 2019).

Com o aumento populacional nas cidades, ocorre também o aumento do custo de habitações e de infraestrutura, o que vêm resultando no crescimento de habitações informais, e o crescimento desenfreado de favelas nos centros urbanos (FIRDAUS, 2012). Além disso, Ichimura (2003) discute que o rápido crescimento gera aumento de desemprego, serviços urbanos insuficientes, sobrecarga de infraestrutura, falta de terras e abrigos adequados, aumento das taxas de crime e violência, serviços de saúde insuficientes, e degradação ambiental, ocasionando queda na qualidade de vida e restringindo o desenvolvimento sustentável.

Conforme Cohen e Muñoz (2016), embora represente apenas 1% da massa terrestre total, as cidades são responsáveis pelo consumo de 70% dos recursos energéticos e da emissão de gases do efeito estufa, tornando-se os maiores contribuintes dos problemas ambientais do planeta. Por esse motivo, faz-se necessária a criação de sistemas produtivos mais sustentáveis, sendo as cidades parte importantíssima dessa mudança. Neste contexto, Ahvenniemi *et al.* (2017) explicita que as cidades podem contribuir para o desenvolvimento social, econômico e ambiental a partir da implantação de novas tecnologias inteligentes, eficientes, integradas e enxutas.

Assim como o aprendizado é essencial para os seres humanos, as transformações são essenciais para as cidades e, portanto, essas devem se adaptar às novas circunstâncias (MUSTERD; OSTENDORF, 2004). Diante disso, as cidades passaram a buscar soluções para os problemas urbanos, dentre elas, a abordagem baseada na aplicação de TIC, considerada um dos fatores primordiais para o surgimento das chamadas *Smart Cities* (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015).

Visto que *Smart Cities* se apresenta como um dos temas centrais da presente pesquisa, a seção seguinte está reservada a explorar os principais conceitos desse modelo de cidade.

2.2.1 Smart Cities

Diferentes termos deram origem ao conceito de *Smart City*, incluindo “*intelligent city*” (cidade inteligente), “*information city*” (cidade da informação), “*knowledge city*” (cidade do conhecimento) e “*ubiquitous city*” (cidade ubíqua), os quais possuem características afins, porém ênfases distintas (LEE; HANCOCK; HU, 2014), tornando confusa e dificultando a sua conceituação e aceitação de forma ampla (HOLLANDS; 2008). A maioria desses termos, conforme Capdevila e Zarlenga (2015) e Corsi *et al.* (2022), tendem a assumir uma perspectiva tecnológica, resultando, inicialmente, em definições de *Smart Cities* fortemente centradas em TIC, que evoluíram, ao longo do tempo, para variações com uma visão mais holística, considerando três fatores principais: tecnologia, pessoas e instituições. Algumas das definições de SC encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 - Definições de Smart City

Autor	Definição
Odendaal (2003)	Capitaliza as oportunidades permitidas pela TIC, na busca pela promoção da sua prosperidade e influência.
Caragliu, Del Bo e Nijkamp (2011)	Investem principalmente em TIC, mas também em capital humano e social, buscando o desenvolvimento social, econômico e ambiental, por meio de governança participativa.
Goodspeed (2014)	Busca a eficácia e eficiência de sistemas por meio do controle e monitoramento em tempo real, utilizando-se de tecnologias inteligentes.
Capdevila e Zarlenga (2015)	Fazem uso de TIC com o objetivo de aumentar a qualidade de vida dos seus habitantes e alcançar o desenvolvimento sustentável.
Yigitcanlar (2016)	A forma de cidade ideal do século XXI, que abrange uma visão equilibrada e sustentável entre as dimensões econômica, social, ambiental e institucional.
Anthopoulos e Reddick (2016)	Um amplo e complexo domínio, resultado da sobreposição de diversas áreas científicas, como: TIC, planejamento urbano, laboratórios vivos, indústria criativa e sustentabilidade.
Javed <i>et al.</i> (2021)	Baseiam-se em TIC e IoT com o objetivo de melhorar os serviços públicos e o bem-estar das pessoas, aumentar a eficiência operacional e implantar práticas de desenvolvimento sustentável.

Fonte: Autoria própria (2023)

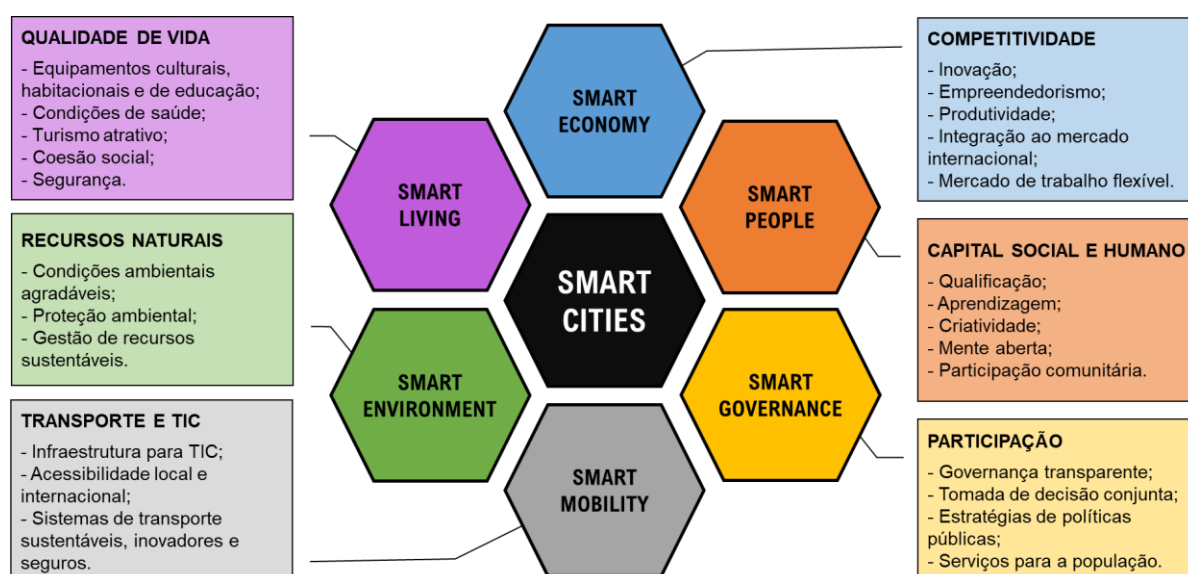
Observa-se que grande parte dos autores citam a aplicação de tecnologias inteligentes, como as TICs, ficando muito visível a importância e o papel do eixo tecnológico no contexto das *Smart Cities*. Porém, como podemos perceber, o conceito de SC não está apenas limitado a esta dimensão, ou seja, é um conceito muito mais

amplo, que busca alcançar o equilíbrio entre as dimensões tecnológica, social e institucional.

Muitos autores criticam esse foco tecnocêntrico das SC, afirmando que apenas a aplicação de tecnologias não torna uma cidade inteligente. Albino, Berardi e Dangelico (2015) afirmam que frequentemente os responsáveis por criar políticas urbanas se confundem ao tomar medidas visando tornar suas cidades inteligentes. Muitas vezes essas medidas se limitam à aplicação de novas tecnologias às cidades, o que para os autores foge do conceito amplo das SC. Neste mesmo contexto, Anttikoiko, Valkama e Bailey (2014) afirmam que as *Smart Cities* devem considerar também as dimensões sociais e ambientais, indo muito além de apenas aplicar novas TICs. A maioria das *Smart Cities* existentes busca apenas adicionar novas tecnologias prontas a fim de solucionar os problemas existentes (GLASMEIER; CHRISTOPHERSON, 2015).

Uma estrutura conceitual amplamente utilizada, elaborada por Giffinger *et al.* (2007), estabelece que as SC devem possuir um bom desempenho em seis domínios: *smart economy* (economia inteligente); *smart people* (pessoas inteligentes); *smart governance* (governança inteligente); *smart mobility* (mobilidade inteligente); *smart environment* (meio ambiente inteligente); e *smart living* (padrão de vida inteligente). Os seis domínios, são ilustrados e descritos, conforme Figura 3.

Figura 3 - Domínios das Smart Cities



Fonte: Adaptado de Giffinger *et al.* (2007)

Estabelecer políticas ao longo dessas seis dimensões permite que as SC sejam capazes de melhorar sua eficiência em processos, atividades e serviços necessários à população (ZHENG *et al.*, 2020). Da mesma forma, Marrone e Hammerle (2018) acreditam que essa abordagem caracteriza as SC de forma mais “verdadeira”, pois considera a importância da educação, cultura, instituições e qualidade de vida do cidadão na estrutura das cidades, não levando em conta somente seu desenvolvimento tecnológico.

A implementação de tecnologias avançadas e sustentáveis nas SC dependem de alguns requisitos fundamentais, que são, conforme Javed *et al.* (2021):

- Interoperabilidade: permite a interpretação, comunicação e troca de informações entre os mais diversos dispositivos presentes das SC;
- Escalabilidade: necessário para garantir desempenho e eficiência adequados para os dispositivos, permitindo também o fornecimento de mais recursos para os usuários;
- Rápida implementação: o design da tecnologia tem papel fundamental no gerenciamento de espaço e na implementação da tecnologia, sendo que, na era moderna da tecnologia é preferível implantar tecnologias sustentáveis e portáteis, visto que demandam menos tempo e recursos;
- Robustez: nas SC, as tecnologias tendem a ser mais avançadas e robustas, isso implica em testes mais rígidos para maior desempenho da tecnologia;
- Sustentabilidade e eficiência: busca por fontes de energias alternativas, que não somente eletricidade, reduzindo assim o consumo e impactos gerados pelas tecnologias;
- Acesso multimodal: versatilidade nas mais diversas interfaces, permitindo gerar resultados de diversas formas, promovendo maior interconectividade, usabilidade e praticidade das tecnologias.

Sendo assim, compreendidos os temas centrais da presente pesquisa, a seguir serão descritos os procedimentos metodológicos utilizados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa científica é caracterizada por permitir a sua replicação e, portanto, para que isso ocorra, o presente capítulo é dedicado à elucidação dos procedimentos metodológicos adotados no trabalho a fim de atender aos objetivos propostos nas seções 1.3 e 1.4, possibilitando, assim, que o problema de pesquisa expresso na seção 1.2 seja respondido.

Primeiramente, será feita a classificação da pesquisa, com o objetivo de delimitar o trabalho. Em seguida, o portfólio de artigos será construído utilizando como base as etapas da metodologia *Methodi Ordinatio*. Por fim, será realizada a coleta e análise dos dados contidos no portfólio de artigos, permitindo então passar para próxima seção, onde serão discutidos os resultados, a fim de responder à pergunta problema da presente pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Da Silva e Menezes (2001) a pesquisa pode ser classificada dentro de quatro grupos principais, sendo eles: natureza do objeto: abordagem do problema; objetivos; e procedimentos técnicos.

Quanto à natureza do objeto a pesquisa pode ser classificada em básica e aplicada. A primeira objetiva gerar novos conhecimentos para a ciência sem aplicação prática, enquanto a segunda objetiva a criação de conhecimento para a aplicação prática de problemas específicos (DA SILVA; MENEZES, 2001). A presente pesquisa não possui aplicação prática prevista e, portanto, pode ser classificada como básica.

Quanto à forma de abordagem do problema a pesquisa pode ser classificada como quantitativa, quando tudo puder ser traduzido em números, utilizando-se de técnicas estatísticas; ou qualitativa, quando há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, ou seja, a subjetividade do sujeito não pode ser traduzida em números (DA SILVA; MENEZES, 2001). A presente pesquisa classifica-se como qualitativa, pois busca, por meio da análise de outras publicações científicas, estabelecer uma relação subjetiva entre os temas Indústria 4.0 e *Smart Cities*.

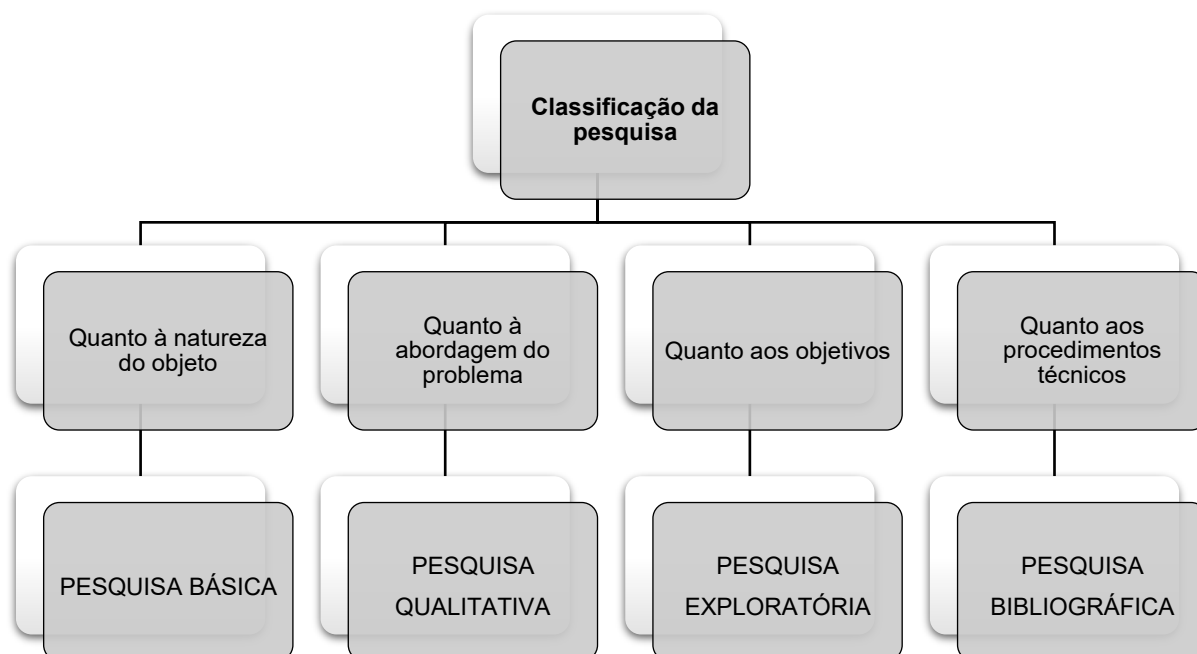
Quanto aos objetivos a pesquisa pode ser classificada como exploratória, descritiva ou explicativa. Gil (2002) explica que a pesquisa exploratória tem por

objetivo familiarizar o problema a partir do aprimoramento de ideias e descoberta de intuições; a pesquisa descritiva é responsável por descrever as características principais de uma população ou fenômeno; enquanto a pesquisa explicativa busca identificar os fatores que determinam a ocorrência de certos fenômenos. A presente pesquisa é classificada como exploratória, uma vez que se utiliza do levantamento bibliográfico para a coleta de dados, objetivando aumentar a familiaridade com a temática.

Do ponto de vista de seus procedimentos técnicos a pesquisa pode ser classificada em dois grupos de delineamentos: os que se valem das fontes de “papel” e os quais os dados são fornecidos por pessoas (GIL, 2002). Dentro do primeiro grupo destaca-se a pesquisa bibliográfica, a qual é elaborada com base em material já existente, como livros e artigos científicos, sendo esta classificação a mais apropriada para a presente pesquisa.

A Figura 4 elucida a classificação da presente pesquisa dentro das quatro categorias explicadas anteriormente.

Figura 4 - Classificação da presente pesquisa



Fonte: Autoria própria (2023)

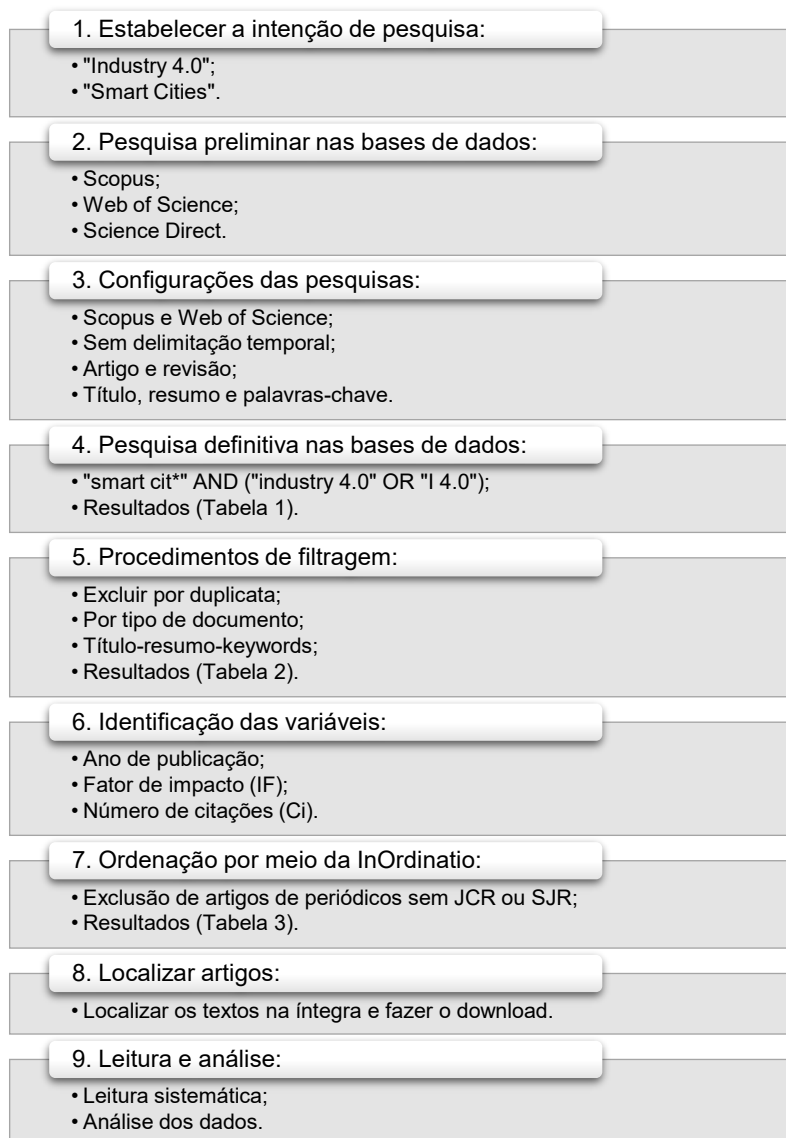
3.2 CONSTRUÇÃO DO PORTFÓLIO DE ARTIGOS CIENTÍFICOS

A construção do portfólio de artigos científicos, a fim de realizar a revisão sistemática de literatura, foi feita com o emprego da metodologia *Methodi Ordinatio*. Essa metodologia de seleção de portfólio trata-se de uma ferramenta de decisão multicritério que utiliza uma equação para classificar artigos, o *Index Ordinatio* (InOrdinatio), levando em conta três fatores principais, os quais se configuram como variáveis da equação: o fator de impacto da revista a qual o artigo foi publicado; o número de citações do artigo; e seu ano de publicação (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015). A metodologia foi atualizada no ano de 2022 e sua principal alteração foi na equação InOrdinatio. A *Methodi Ordinatio 2.0* utiliza-se de três fatores que ponderam a relevância das três variáveis anteriormente mencionadas (fator de impacto, número de citação e ano de publicação), sendo estes (PAGANI *et al.*, 2022):

- Δ : fator variando de 0 a 10 que pondera a relevância do Fator de Impacto (IF) da revista a qual o artigo foi publicado;
- Λ : fator variando de 0 a 10 que pondera a relevância do Ano de Publicação (PubYear) dos artigos;
- Ω : fator variando de 0 a 10 que pondera a relevância do Número de Citações (Ci) dos artigos.

Pagani, Kovalski e Resende (2015) e Pagani *et al.* (2022) propõem a *Methodi Ordinatio* dividida em nove fases, que permitem a classificação dos artigos antes da fase de revisão de literatura, facilitando a seleção dos trabalhos mais adequados para a pesquisa, sem que a qualidade científica seja afetada. As nove etapas para a presente pesquisa foram construídas, conforme Figura 5, e são detalhadas a seguir.

Figura 5 - Procedimentos realizados para construção do portfólio de artigos



Fonte: Autoria própria (2023)

- Etapa 1: A intenção de pesquisa foi definida, e com ela as possíveis palavras-chave do trabalho utilizadas nas buscas exploratórias: “*industry 4.0 (I4.0)*” e “*smart cities*”.

- Etapa 2: Foram utilizadas as bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct* e realizadas as buscas exploratórias.

- Etapa 3: As bases *Scopus* e *Web of Science* foram definidas por retornarem os maiores resultados em números de artigos relacionados aos temas pesquisados. Foram então definidas as seguintes configurações nas bases de dados:

- *Scopus*: Pesquisa por título, resumo e palavras-chave, selecionando apenas artigos e revisões, sem corte temporal, utilizando o operador booleano (*) ao final das palavras onde necessário.

- *Web of Science*: Pesquisa por tópico, selecionando apenas artigos e revisões, sem corte temporal, utilizando o operador booleano (*) ao final das palavras onde necessário.

- Etapa 4: Foi definida uma combinação entre as palavras-chave e realizada a busca definitiva nas bases de dados, as quais retornaram os seguintes resultados, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da busca definitiva nas bases de dados

Combinação de palavras-chave	Número de artigos ou revisões nas bases de dados	
	Scopus	Web of Science
"smart cit*" AND ("industry 4.0" OR "I 4.0")	90	85
Total		175

Fonte: Autoria própria (2023)

- Etapa 5: Após a busca definitiva foram realizados os processos de filtragem dos artigos, visando eliminar trabalhos em duplicidade e com temáticas fora do contexto central da presente pesquisa. Os seguintes critérios foram aplicados na filtragem dos artigos:

- Eliminar artigos em duplicidade;
- Eliminar por tipo de documento;
- Eliminar por conteúdo, por meio da leitura e análise dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos;

Os resultados obtidos nessa etapa foram, conforme Tabela 2:

Tabela 2 - Resultados após os procedimentos de filtragem

Procedimentos de filtragem	Número de artigos
Número inicial de artigos	175
Eliminar em duplicidade	63
Eliminar por tipo de documento	1
Eliminar por conteúdo (título-resumo-keywords)	40
Número de artigos eliminados	104
Número final de artigos antes da ordenação	71

Fonte: Autoria própria (2023)

- Etapa 6: A partir disso, as informações dos setenta e um artigos foram inseridas em uma planilha Excel denominada RankIn 2.0, a qual coleta o IF das revistas automaticamente, gera um link direto para o Google Acadêmico para cada

artigo, facilitando a coleta do C_i , e, por fim, preenche automaticamente o ano de publicação de cada artigo.

- Etapa 7: Após a obtenção das variáveis de todos os artigos do portfólio, foi possível aplicar a Equação denominada InOrdinatio 2.0, conforme proposto por Pagani *et al.* (2022), permitindo classificar e ordenar os artigos por relevância científica.

$$InOrdinatio2.0 = \{(\Delta * (IF)) - \left[\lambda * \left(\frac{ResearchYear - PubYear}{CitedHalfLife} \right) \right] + \Omega * \left[\frac{C_i}{(ResearchYear+1) - PubYear} \right]\} \quad (1)$$

Para esta pesquisa, os valores atribuídos aos três novos fatores Δ , λ e Ω foi 10, visto que para essa pesquisa os três parâmetros são relevantes. Assim, o InOrdinatio 2.0 permitiu a ordenação dos artigos de acordo com a sua relevância científica. Após a ordenação, foi realizada uma seleção dos trinta artigos com maiores valores de InOrdinatio, para que fossem feitas as análises nos trabalhos mais relevantes da área, conforme Tabela 3:

Tabela 3 - Resultados do portfólio depois da exclusão pós ordenação

Procedimentos de filtragem	Número de artigos
Número final de artigos antes da ordenação	71
Exclusão pós ordenação	41
Número final de artigos no portfólio	30

Fonte: A autoria própria (2023)

- Etapa 8: O portfólio final de artigos foi obtido, conforme APÊNDICE A (Tabela 5), e todos os artigos foram localizados em seu formato integral para leitura.

- Etapa 9: Foi realizada a leitura sistemática de todos os artigos conforme a ordenação estabelecida pelo InOrdinatio.

Após a realização da *Methodi Ordinatio* foi feita a coleta e análise dos dados contidos no portfólio de artigos, etapa explicada na próxima seção.

3.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

O próximo passo é realizar a coleta e análise dos dados a fim de encontrar a relação entre os temas chaves da pesquisa. As análises foram realizadas em duas etapas, sendo a primeira a análise bibliométrica e a segunda a análise de conteúdo. A primeira etapa visa contextualizar o portfólio, certificando a metodologia empregada.

Para isso, foram identificados os principais autores do portfólio, as principais palavras-chave, a atualidade do tema, bem como os principais temas mencionados ao longo dos artigos. Nessa etapa, os softwares VosViewer e NVivo12, que auxiliam em gestão de portfólio e análises qualitativas, foram utilizados.

A segunda etapa consiste na leitura na íntegra dos artigos do portfólio, buscando coletar os aspectos específicos da Indústria 4.0, como conceitos, requisitos e tecnologias, assim como os aspectos específicos das *Smart Cities*, seus conceitos, domínios e tecnologias principais, permitindo assim, relacionar os dois temas, identificando os principais benefícios e desafios dessa relação, atingindo o objetivo geral da pesquisa. Para isso, os dados extraídos dos artigos foram tabulados em planilha eletrônica, a fim de se extrair informações e conhecimentos úteis para a compreensão da relação entre os temas. Nesta etapa também foi utilizada a ferramenta de consulta de pesquisa de texto do software NVivo12, que permite realizar buscas por termos específicos em todo o portfólio de maneira conjunta.

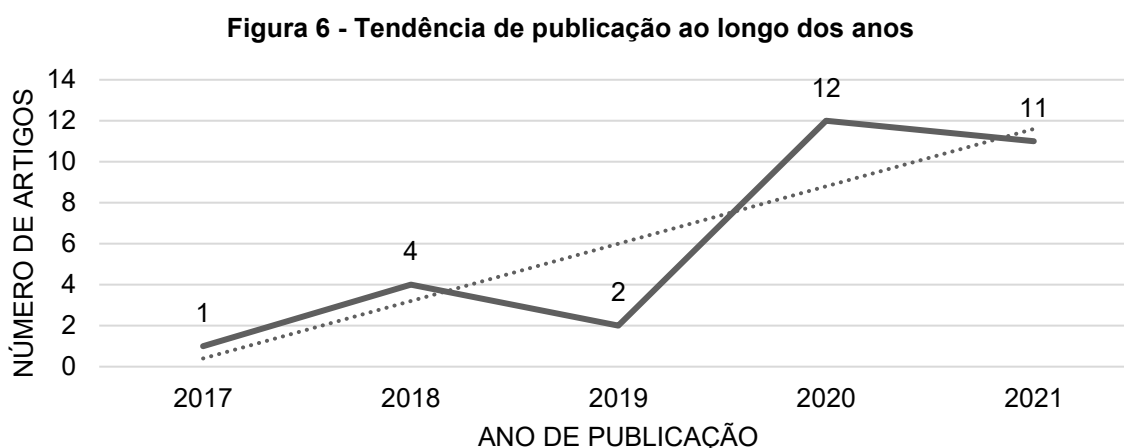
A seção seguinte está reservada para a apresentação dos resultados e discussões do presente trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta pesquisa serão apresentados em duas seções, (4.1) as análises bibliométricas, com o intuito de apresentar o cenário da pesquisa científica envolvendo *Smart Cities* e Indústria 4.0, e (4.2) as análises de conteúdo, permitindo identificar o relacionamento entre os pilares das *Smart Cities* e da Indústria 4.0.

4.1 ANÁLISES BIBLIOMÉTRICAS

O portfólio final de artigos foi definido com os trinta artigos mais relevantes sobre as temáticas envolvidas nesta pesquisa. A partir disso, algumas análises foram propostas a fim de evidenciar o cenário da pesquisa científica acerca das temáticas. A primeira análise desenvolvida foi com o intuito de evidenciar a tendência de publicação ao longo dos anos. Os resultados obtidos foram, conforme Figura 6.



Fonte: Autoria própria (2023)

A partir da Figura 6 observa-se que existe uma tendência crescente de publicação quando se relaciona os termos *Smart Cities* e Indústria 4.0, visto que os dois últimos anos são responsáveis por aproximadamente 80% dos artigos do portfólio.

Em seguida, foi realizada a análise das principais revistas do portfólio, conforme Tabela 4.

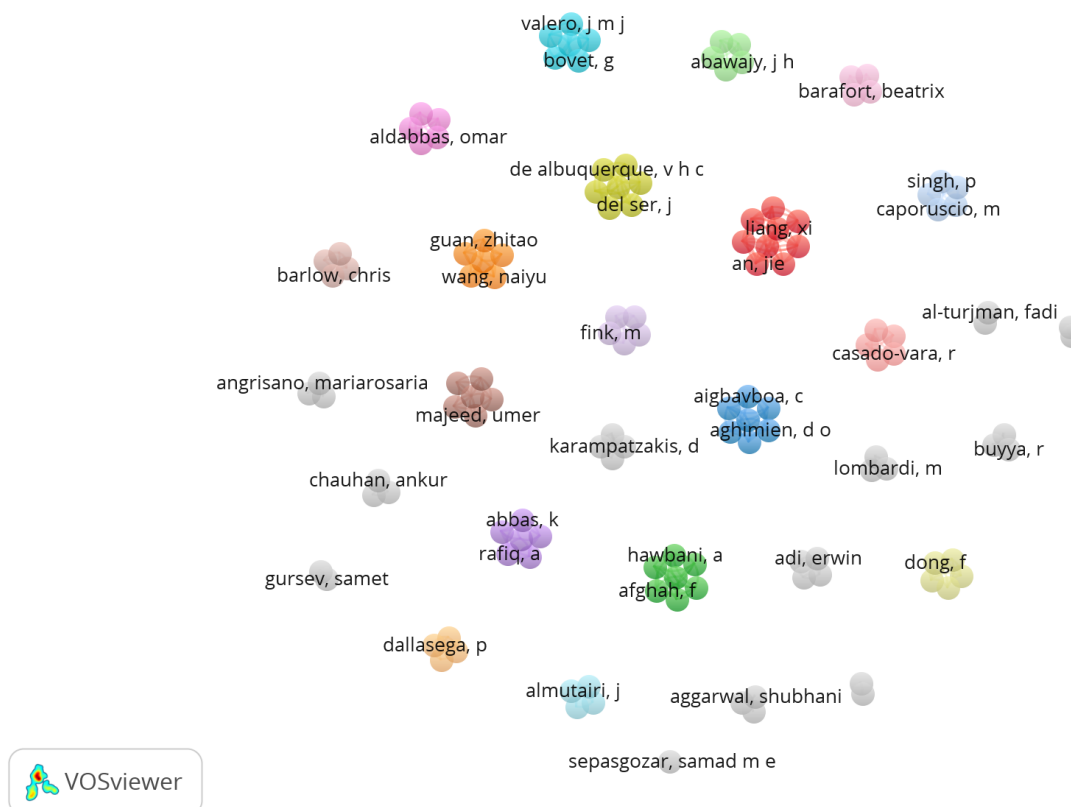
Tabela 4 - Principais revistas do portfólio de artigos

Título da Revista	Número de artigos	Fator de Impacto
IEEE Access	3	6,70
IEEE Internet of Things Journal	2	17,10
Future Generation Computer Systems	2	18,70
Sustainability	2	5,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se que a revista com o maior número de artigos do portfólio é a *IEEE Access*, com três artigos no total. Essa revista tem foco em trabalhos originais relacionados à engenharia elétrica, eletrônica, áreas relacionadas à computação, e tecnologias inovadoras. A segunda revista também é do grupo IEEE e tem o escopo principal em tecnologias inovadoras, principalmente o tema *Internet of Things*, como o próprio nome destaca. Assim como as duas primeiras revistas, a *Future Generation Computer Systems* abrange temas como a implementação tecnológica, sistemas distribuídos, *Big Data Analysis*, tecnologias inovadoras, e foca em modelos e ferramentas tecnológicos, desenvolvimento de teorias e protocolos. Por fim, a revista *Sustainability* apresenta um escopo diferente das demais revistas principais, visto que seu foco é em relação aos desafios da sustentabilidade, aspectos socioeconômicos, promoção do desenvolvimento sustentável, mensuração da sustentabilidade por meio de metodologias e ferramentas, bem como a utilização de tecnologias para promover esses objetivos. Sendo assim, verifica-se que as três primeiras revistas focam majoritariamente em aspectos tecnológicos, abrangendo os eixos da Indústria 4.0, já a quarta revista tem foco em sustentabilidade e tecnologias para a promoção de desenvolvimento sustentável, estando mais alinhada com os domínios das *Smart Cities*.

Na sequência foi realizada a análise dos principais autores do portfólio utilizando-se do software VOSviewer e sua funcionalidade de rede de autores. O resultado obtido foi, conforme Figura 7.

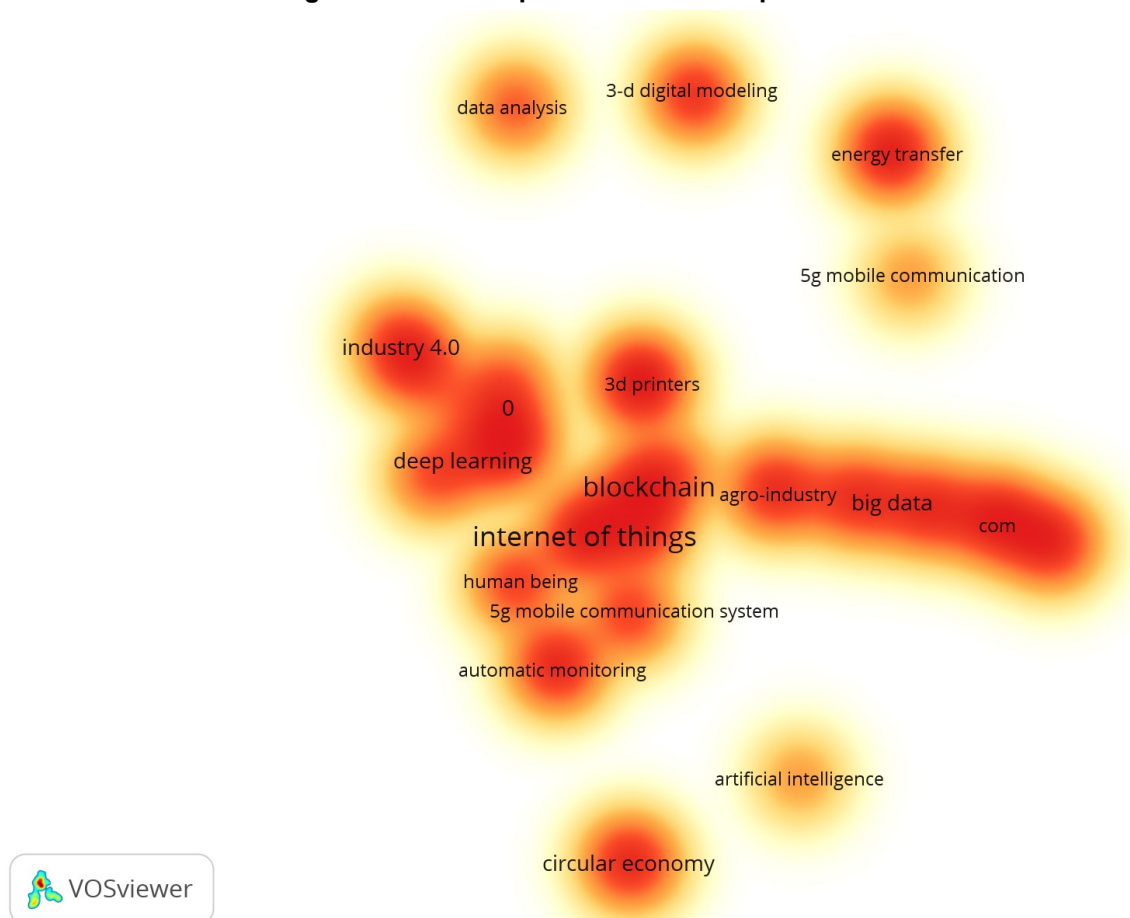
Figura 7 - Rede de autores do portfólio

Fonte: Autoria própria (2023)

A partir dos dados disponibilizados pelo software, o portfólio ficou composto por 132 autores, que formam redes de publicação, conforme evidenciado diferentes cores na Figura 7. Observa-se que não existe uma rede de autores com maior importância que os demais, visto que cada rede de autores apresenta somente um artigo cada, não sendo possível destacar uma rede de colaboração de autores com maior foco nas temáticas.

Em seguida, utilizando o mesmo software, foi realizada a análise de densidade de palavras-chave. Essa análise permite demonstrar o foco do portfólio, visto que a partir do campo de palavras-chave demonstra os temas abordados nos artigos. O resultado obtido foi, conforme Figura 8.

Figura 8 - Rede de palavras-chave do portfólio

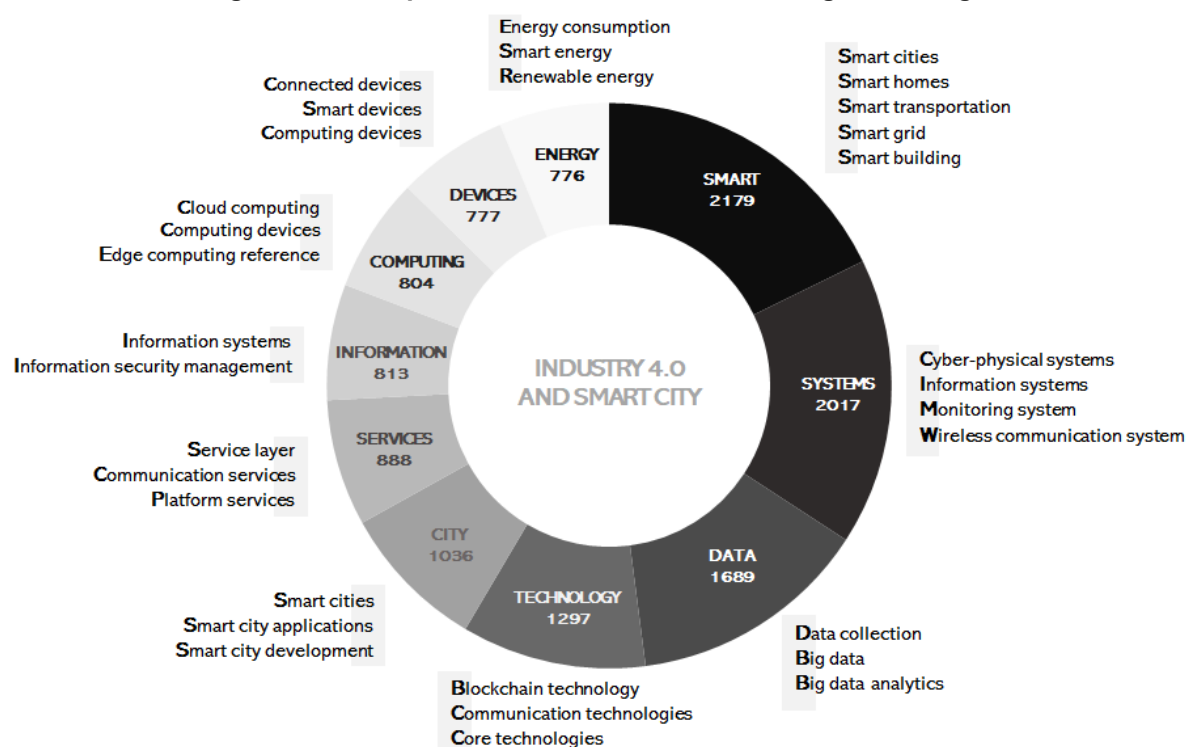


Fonte: Autoria própria (2023)

A partir dos dados disponibilizados pelo software VOSviewer, verifica-se que o portfólio é composto por 124 palavras-chave, sendo a principal “*Internet of Things*”, mencionada em 23% dos artigos do portfólio, seguida do termo “*Blockchain*”, mencionada em 17% dos artigos, e na sequência o termo “*Smart City*”, “*Deep learning*” (aprendizagem profunda) e outras tecnologias da Indústria 4.0. Assim, conclui-se que o portfólio de artigos é representativo, visto que muitos de seus termos principais são relacionados com tecnologias disruptivas, que representam os pilares da Indústria 4.0, um dos temas centrais do presente trabalho, além de possuir o segundo tema central do trabalho (*Smart City*) também como um dos termos chave do portfólio.

Por fim, a última análise bibliométrica realizada teve o auxílio do NVivo 12, um software para auxílio de pesquisas qualitativas e análise de portfólios. Utilizou-se de sua funcionalidade de codificação automática de artigos, a qual realiza análises ao longo dos artigos buscando destacar os termos centrais bem como os trechos relacionados aos termos centrais. A partir disso, foram evidenciados os dez principais termos mais mencionados ao longo dos artigos, conforme Figura 9.

Figura 9 - Principais termos mencionados ao longo dos artigos



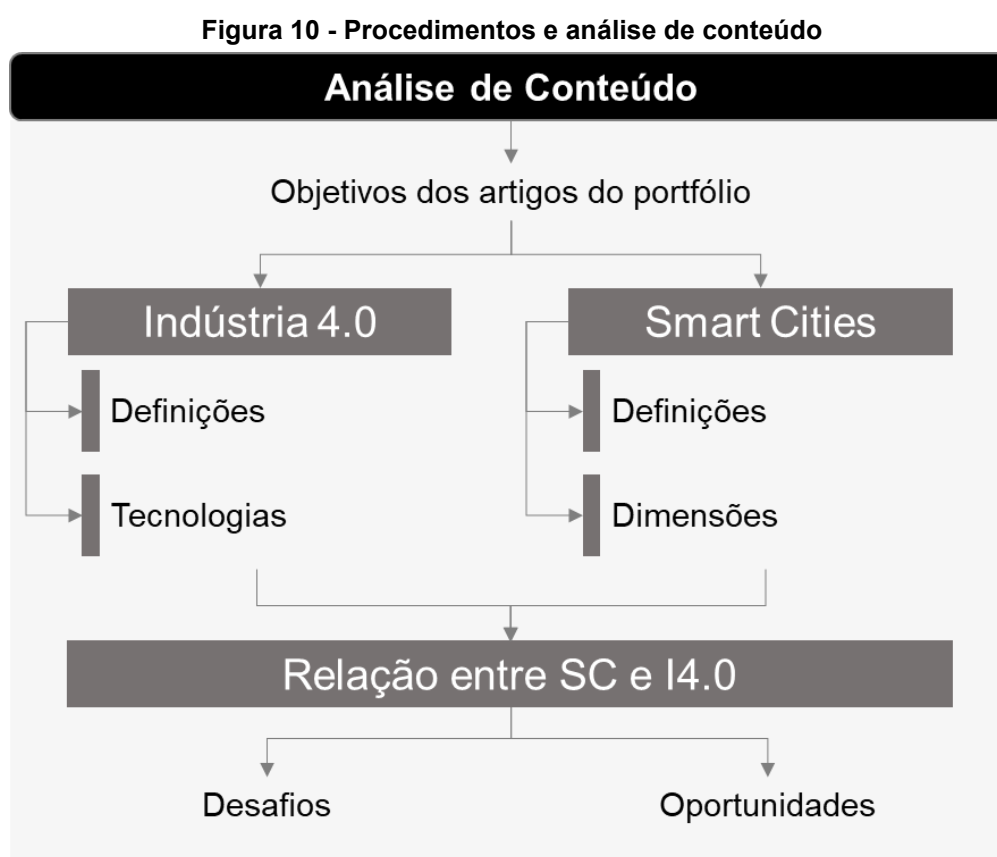
Fonte: Autoria própria (2023)

Assim, observa-se por meio da codificação automática, que visa identificar a densidade de termos mencionados no corpo do texto dos artigos, um resultado diferente do obtido com a densidade de palavras-chave. Verifica-se que, nesse caso, o termo com o maior número de trechos codificados é o termo “*Smart* (inteligente)”, mencionado em 2179 trechos, e abordado, principalmente, juntamente com os termos “*city* (cidade)”, “*homes* (casas)”, “*transportation* (transporte)”, “*grid* (rede)” e “*building* (construção)”, demonstrando o foco dos artigos em alguns domínios das *Smart Cities*. Em seguida, os termos “*Systems* (sistemas)”, “*Data* (dado)” e “*Technology* (tecnologia)” foram os mais frequentes, mencionados com trechos que abordam tecnologias inovadoras, que são os eixos da Indústria 4.0.

A partir da análise disponibilizada pela codificação automática do NVivo 12, foi realizada a análise por busca textual no mesmo software, que permite que o pesquisador tenha acesso a trechos que mencionem os termos desejados, permitindo assim, definir a relação entre *Smart Cities* e Indústria 4.0, conforme descrito na seção seguinte.

4.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Para que o objetivo do presente estudo fosse atingido, foi construído um portfólio de artigos com relevância científica, para que, posteriormente, fossem realizadas as análises bibliométricas e de conteúdo. A primeira análise tem como finalidade contextualizar o portfólio, demonstrando as tendências, os termos centrais, os principais autores, dentre outros aspectos. Já a análise de conteúdo tem como objetivo coletar as informações, por meio da leitura na íntegra dos artigos, a fim de realizar as discussões que permitirão cumprir com o objetivo do presente estudo. Assim, nessa seção será apresentada a análise de conteúdo, seguindo as seguintes etapas, conforme Figura 10.



Fonte: Autoria própria (2023)

4.2.1 Análise dos Objetivos do Portfólio

Assim, conforme ilustrado na Figura 10, a primeira análise realizada foi dos objetivos dos artigos do portfólio. Verificou-se que a maioria deles (mais de 60%) apresenta uma abordagem teórica, investigando e revisando o estado da arte de

tecnologias, métodos e conceitos relacionados à Indústria 4.0 e/ou *Smart Cities*. A segunda abordagem mais adotada foi a abordagem prática, representando pouco mais de 20%, e os demais artigos tiveram uma abordagem mista, investigando e revisando, mas também propondo aplicação prática de ferramentas, algoritmos e/ou tecnologias.

A partir da classificação das abordagens, os objetivos foram revisados em ordem cronológica e por abordagem metodológica, permitindo compreender o contexto do portfólio e a abordagem dos temas centrais da presente pesquisa, sendo a Indústria 4.0 e as *Smart Cities*.

Baccarelli *et al.* (2017) revisam os atributos tecnológicos dos paradigmas da *Fog Computing* (FC) (computação em névoa) e *Internet of Everything* (IoE) (Internet de Tudo). Conforme os autores, a integração das tecnologias pode gerar oportunidades de aplicação pervasivas em computação e rede no âmbito da Internet do Futuro, como Internet da Energia, *Smart Cities*, Indústria 4.0 e *Big Data Streaming*.

Também com foco na tecnologia *fog computing*, Mahmud, Ramamohanarao e Buyya (2020) investigam a gestão e aplicação da tecnologia, em termos de arquitetura, implementação e manutenção. Conforme os autores, a FC é uma extensão da nuvem na rede periférica que permite executar aplicações mais perto da fonte dos dados, melhorando o tempo de entrega dos serviços das aplicações, evitando congestionamentos da rede. Entretanto, existem desafios associados. Devido aos nós da FC serem distribuídos e heterogêneos e apresentarem limitações de recursos, faz-se necessária uma gestão das aplicações para utilizar sua capacidade.

McKee *et al.* (2018) revisam o estado da arte existente em automação, aumento e integração de sistemas nos domínios das SC, veículos autônomos, eficiência energética, manufatura inteligente no setor 4.0 e saúde. Os autores retratam que, embora sejam adotadas tecnologias da IoT em ambientes de *Smart Cities*, como as computações de borda, em névoa, em nuvem e de alto desempenho, aplicadas aos domínios de Big Data e *Deep Learning*, essas não são adequadas para lidar com a escala e complexidade dos sistemas conectados, autônomos e inteligentes. Além disso, os autores mencionam como desafios as questões relacionadas à segurança e proteção no fluxo de dados.

Oztemel e Gursev (2020) realizam uma revisão da Indústria 4.0, abordando seus princípios de design, a interoperabilidade, a virtualização, a descentralização, a

capacidade em tempo real, a orientação para os serviços e a modularidade, discutindo que os conceitos da I4.0, bem como suas tecnologias, têm grande efeito na vida social. Conforme os autores, o modo de produção mudou, com a adoção cada vez mais recorrente de robôs, sistemas autônomos, *machine learning* (aprendizado de máquina), impressão 3D, dentre outras. Com isso, a análise de dados, a vida baseada em sensores, as cidades inteligentes, dentre outros aspectos, irão tornar-se preocupações da comunidade, gerando transformações sociais na sociedade industrial.

Também abordando os desafios da I4.0, Matt *et al.* (2020) discutem a escassez iminente de trabalhadores qualificados, em especial nas pequenas e médias empresas (PMEs). Conforme discutido pelos autores, embora muitas abordagens da I4.0 foquem na natureza técnica e tecnológica, os recursos humanos são fatores chave para a implementação da Indústria 4.0, logo, essenciais nas fábricas do futuro. Portanto, o papel e perfil do profissional irão tornar-se cada vez mais importantes, trazendo dificuldade para as PMEs em disputar com as grandes empresas os profissionais qualificados.

Outro desafio recorrente abordado no âmbito das *Smart Cities* e da Indústria 4.0 é a segurança e a privacidade, já mencionada por McKee *et al.* (2018). Nesse contexto, Walker-Roberts *et al.* (2020) discutem que inovações revolucionárias como a I4.0 e as SC são oriundas da maior integração entre ambientes físicos e digitais. Nos sistemas ciberfísicos, a conexão de diversos dispositivos gera novas vulnerabilidades e ameaças à segurança. Assim, os autores investigam o espectro de risco de um incidente de segurança cibernética que ocorre no mundo ciberfísico usando o *VERIS Community Database* (VCDT) (Banco de Dados Comunitário VERIS). Este banco de dados coleta informações sobre incidentes relacionados às violações de dados, os codifica na linguagem *Vocabulary for Event Recording and Incident Sharing* (VERIS) (Vocabulário para Registro de Eventos e Compartilhamento de Incidentes), e os disponibiliza para uso público. Conforme os resultados obtidos, Walker-Roberts *et al.* (2020) identificaram que o ativo mais comumente visado em ataques cibernéticos é a informação, com a maior parte dos modos de ataque se baseando em abusos de privilégio, sendo o principal motivo para essa violação o erro humano. Assim, os autores concluem ser necessário rever os princípios básicos de segurança cibernética.

Ainda abordando o problema de segurança, Caporuscio *et al.* (2020) discutem que o mundo digital trouxe muitos benefícios para a sociedade, mas também resultou em novas ameaças, sendo fundamental a existência de iniciativas para abordar a segurança das informações e resolver falhas de sistema, que podem ser oriundas de bugs, hardware, software ou problema de interoperabilidade. Assim, os autores investigam estruturas, metodologias e ferramentas relacionadas ao conceito de "*smart-troubleshooting connected devices* (solução inteligente de problemas em dispositivos conectados)", especialmente as necessárias para modelar, analisar e se recuperar de falhas de forma (semi)automática. Conforme os autores, essa estrutura é o conjunto de atividades e ferramentas necessárias para reunir informações sobre falhas geradas por dispositivos conectados heterogêneos, analisá-las e combiná-las com instruções de solução de problemas e correções de software. Com isso, o sistema seria capaz de se curar de forma autônoma e tornar-se mais resiliente.

Também com foco em cibersegurança, Sanchez *et al.* (2021) discutem que no mundo atual, com inúmeros dispositivos heterogêneos interligados, cresce o número de avarias e ameaças à cibersegurança. Assim, para garantir o funcionamento dos ambientes, como SC, I4.0 ou *crowdsensing* (sensoriamento de multidões), faz-se necessário identificar as capacidades dos dispositivos, bem como detectar possíveis comportamentos incorretos que possam causar riscos à segurança. Diante disso, surge um campo de investigação baseado na criação e gestão de impressões digitais (*fingerprinting*) que modelam o comportamento tanto das ações do dispositivo como dos seus componentes.

Majeed *et al.* (2021) abordam que embora as SC ofereçam melhorias em inúmeros domínios, também tem como um dos principais desafios a segurança. Nesse sentido, as cidades podem ser equipadas com a tecnologia *blockchain* para ofertar maior segurança por meio do armazenamento das transações em um livro-razão seguro, transparente, descentralizado e imutável, mas, para isso, faz-se necessário investigar tanto a tecnologia como as cidades. Assim, os autores realizaram uma investigação acerca da viabilização das *Smart Cities* baseadas em IoT por meio da tecnologia *blockchain*.

Abordando os conceitos de SC, Aghimien *et al.* (2020) investigam os desafios dos governos de países com economia subdesenvolvida, utilizando a Nigéria como estudo de caso, em conseguir desenvolver cidades inteligentes. Conforme os autores, por meio da definição dos desafios, é possível direcionar as ações para viabilizar o

desenvolvimento dessas SC. Foram identificadas seis dimensões dos desafios: governança, questões econômicas, sociais, tecnológicas, ambientais e jurídicas, e, a partir da análise, os autores concluíram que as seis dimensões impactam no desenvolvimento de SC na Nigéria, principalmente em questões ambientais, tecnológicas, sociais e legais.

Com o intuito de facilitar o desenvolvimento das *Smart Cities*, Anttila e Jussila (2018) abordam o papel das universidades nesse contexto. Os autores discutem que as universidades influenciam no desenvolvimento da sociedade, bem como das cidades e comunidades inteligentes. Assim, apresentam a gestão da qualidade nas universidades, abrangendo atividades de educação, pesquisa e colaboração social, de maneira a garantir uma parceria bem-sucedida das universidades nos projetos de desenvolvimento de *Smart Cities*, atendendo às demandas e exigências, apoiando e ajudando o desenvolvimento das cidades.

Fuller *et al.* (2020) e Sepasgozar (2021) focam na conceituação de *Digital Twin* (DT) – ou Gêmeo Digital, em português. Conforme Fuller *et al.* (2020), a DT é um termo emergente, oriundo da evolução da indústria, em especial da I4.0, definida como a integração de dados entre máquina física e virtual em qualquer direção. A partir dessa conceituação, os autores revisam os desafios e aplicações das tecnologias *Artificial Intelligence* (AI) (Inteligência Artificial), IoT e DT nas seguintes áreas de investigação: indústria, saúde e cidades inteligentes. Já Sepasgozar (2021) aborda que a DT é uma facilitadora da aplicação dos conceitos da I4.0 nas *Smart Cities*. Conforme o autor, a I4.0 juntamente com a transformação digital podem elevar a produtividade reduzindo o consumo energético, sendo importante no âmbito das cidades, visto que projetos de construção civil juntamente com as cidades são responsáveis por mais de 50% das emissões de carbono e do consumo de energia.

Com foco em mobilidade inteligente, Nikitas *et al.* (2020) discutem o nexo entre AI, transportes e SC, abrangendo os conceitos de mobilidade inteligente e de mobilidade como serviço – *Mobility as a Service* (MaaS), e o modo como isso impacta no ambiente urbano. São abordadas as iniciativas de mobilidade inteligente, sendo os Veículos Autônomos Conectados (*Connected and Autonomous Vehicles*) (CAVs), os Veículos Aéreos Pessoais (*Personal Air Vehicles*) (PAVs) e Veículos Aéreos Não Tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles*) (UAVs), o MaaS, bem como as tecnologias que podem facilitar no transporte em outras transformações da I4.0, sendo a IoT e a Internet Física. Conforme os autores, a AI pode promover transições sustentáveis na

habitabilidade mais eficiente em termos de recursos, e, com suas funções de *Deep Learning*, pode ser uma ferramenta que transforma paisagens urbanas e ajuda a estabelecer o conceito de *Smart City*. Sua principal contribuição está no domínio do transporte, conforme Nikitas *et al.* (2020), a oferta de mobilidade baseada em AI, embora orientada por máquina, deve ser centrada na satisfação e compreensão do usuário.

Alsamhi *et al.* (2021) revisam as técnicas e estratégias propostas recentemente para tornar a IoT ecológica, utilizando a infraestrutura dos UAVs para um mundo inteligente fiável e sustentável. Conforme os autores, os UAVs têm despertado interesse, principalmente para aplicações em vigilância, agricultura, comunicação, transporte, monitorização de poluição, gestão de catástrofes, segurança pública, cuidados com a saúde, dentre outros. A IoT é necessária para assegurar a colaboração entre dispositivos. No entanto, muitos dispositivos IoT consomem grandes quantidades de energia para transmitirem os dados dos ambientes circundantes. Nesse contexto, devido à capacidade dos UAVs voarem mais perto da IoT, essa tecnologia desempenha papel vital na ecologização da IoT.

Seguindo o mesmo tema, Aggarwal, Kumar e Tanwar (2021) discutem que os UAVs podem fornecer soluções eficientes para o desenvolvimento das *Smart Cities*, e tem sido aplicada a diversas aplicações, como aquisição de dados, vigilância aérea, cuidados médicos em tempo real, dentre outros. Entretanto, para seu uso, comunicação tradicional não é adequada para lidar com sua elevada mobilidade e dinamismo. Aliado a isso, devido ao uso em ambientes hostis é necessário que se tenha uma rede eficiente e segura de UAVs. Diante disso, os autores revisaram a arquitetura, os requisitos e os casos de utilização da tecnologia 6G na comunicação dos UAVs.

Ainda acerca da IoT, inúmeras aplicações foram desenvolvidas baseadas na IoT, como nas cidades inteligentes, nas estradas inteligentes e nas indústrias inteligentes (LOMBARDI; PASCALE; SANTANIELLO, 2021). Assim, os autores realizaram uma revisão acerca das arquiteturas, tecnologias, protocolos e aplicações atuais que caracterizam a IoT.

Já Islam *et al.* (2020) abordaram a infraestrutura robusta de *Trillion Sensor System* (sistema trilionário de sensores) baseada em IoT. Conforme os autores, a IoT dá suporte à diversas soluções, como dispositivos médicos vestíveis, Indústria 4.0, redes de energia e água, cidades inteligentes, transporte e necessidades de

infraestrutura rodoviária, dentre outras. Entretanto, para isso, precisa de uso de um a dez trilhões de sensores ativos. Conforme os autores, o uso dessas tecnologias em conjunto criará empregos e irá gerar um acréscimo no produto interno bruto (PIB) mundial.

Romero *et al.* (2020) exploram a conceitualização de *Smart Systems* (sistemas inteligentes) para fornecer uma base comum para o seu desenvolvimento e implementação em vários domínios. Conforme os autores, estudos como tal são necessários para a melhor compreensão da transformação digital, que abrange a passagem das tecnologias assistidas por computador para os *smart systems*.

A segunda abordagem mais recorrente no portfólio foi prática. Shan *et al.* (2018) apresentaram um algoritmo de programação ideal para o caso off-line em que a transferência de energia sem fio variável é conhecida antecipadamente. Conforme os autores, a *Wireless Power Transfer* (WTP) (transferência de energia sem fio) é uma técnica aplicável para resolver problemas de energia para sensores sem fonte de alimentação com fio imediata em *Smart Cities*, como para transporte e edifícios inteligentes. A partir dessa técnica, os sensores primeiro coletam energia por meio do WTP e depois transmitem os dados detectados por receptor.

Moustafa *et al.* (2018) abordam o desafio de segurança contra ameaças do setor 4.0. Conforme os autores, como esse setor é composto por sensores, atuadores, computação em nuvem e névoa, dentre outras tecnologias, ele enfrenta grandes desafios relacionados a gestão dos dados heterogêneos e manutenção da segurança do sistema. Assim, os autores propõem um esquema de inteligência contra ameaças que modela as interações dinâmicas dos componentes do setor 4.0, incluindo sistemas físicos e de rede, composto por dois módulos. O primeiro, módulo de gerenciamento inteligente, permite lidar com dados heterogêneos, essencial para o setor 4.0; e o segundo, módulo de inteligência contra ameaças, foi projetado com base no modelo estatístico *Hidden Markov Model* (HMM) (modelo oculto de Markov) para descobrir atividades anômalas em sistemas físicos e de rede.

Também com foco nos desafios de segurança e privacidade, Guan *et al.* (2021) utilizam o algoritmo *Ciphertext-Policy Attribute-Based Encryption* (CP-ABE) (Criptografia Baseada em Atributo com Políticas nos Textos Cifrados) para construir um modelo geral para transações distribuídas a fim de tratar os problemas de segurança e privacidade. Conforme os autores, a abordagem pode maximizar a

capacidade de proteção da informação e privacidade, melhorando a segurança e fiabilidade das transações.

Com abordagem focando na segurança de um domínio específico das SC, Abbas *et al.* (2021) propuseram um sistema descentralizado de gerenciamento de dados para transporte inteligente, por meio do uso da *blockchain* e a IoT em *Smart Cities* sustentáveis, a fim de resolver o problema de vulnerabilidade de dados, fornecendo uma arquitetura de dados baseada na plataforma *Hyperledger Fabric* para um sistema de transporte inteligente, seguro e confiável. Conforme os autores, as estruturas inteligentes adotadas pelo setor 4.0 geram vulnerabilidades aos dados de sensores, serviços e aplicativos das SC, e um sistema de mobilidade inteligente requer um sistema de trânsito interconectado com flexibilidade e eficiência, justificando a necessidade da pesquisa apresentada.

Também com foco em mobilidade inteligente, Lin e Cheung (2020) abordam que muito se discute sobre a poluição do ar e a emissão de gases perigosos, principalmente em estacionamentos das cidades, sendo essencial estudos para melhorar essas condições nas SC. A partir disso, os autores desenvolveram um sistema avançado de monitoramento e controle do ambiente de estacionamentos subterrâneos, adotando as tecnologias *Wireless Sensor Network* (WSN) (rede de sensores sem fio) e *Building Information Modeling* (BIM) (modelo da informação da construção) para a aplicação de *digital twin* do setor 4.0. De acordo com os autores, o uso da tecnologia BIM vem sendo amplamente aplicada no setor de construção, sendo aplicável em todas as fases do ciclo de vida de um projeto, já a WSN é uma tecnologia chave no desenvolvimento da IoT, tecnologia essencial do setor 4.0. O sistema foi composto por nós WSN para coletar dados sobre as condições de monóxido de carbono (CO), temperatura e umidade em tempo real dos estacionamentos. Esses dados foram transferidos por uma rede auto constituída de WSN, integrando as condições de localização em componentes espaciais de um modelo BIM 3D. A partir de um estudo de caso em Taipei, o sistema se mostrou visualmente eficaz no gerenciamento ambiental de estacionamentos.

Wang *et al.* (2021) focam na visualização e monitorização automática em tempo real de *Smart Cities*, sendo que essa monitorização rápida e precisa em ambientes de vigilância complexos se faz um grande desafio. Nesse contexto, os autores propõem um algoritmo denominado *Human Short-Long Cognitive Memory Mechanism* (Mecanismo de Memória Cognitiva de Curto e Longo Prazo em Humanos)

para monitorização por vídeo que pode ser adotada nas SC. Conforme os autores, essa estratégia de alternância entre memória de custo prazo e de longo prazo é combinada com a aparência do alvo, garantindo que o modelo original não será contaminado ou perdido por alterações no ambiente externo, como movimento rápido, desfocagem, desordem, etc. Os resultados obtidos por meio de simulação mostraram que o algoritmo melhora a velocidade de monitorização, a precisão e robustez da detecção em cenários complexos, sendo um mecanismo aplicável em assistidas por IoT.

O último trabalho com abordagem prática foi de An *et al.* (2020), que apresentaram um painel mecatrônico de inserção de dados (*block-inserting mechatronic*), baseado em nanogeradores, utilizado como um indicador mecânico, e como um sensor eletrônico ativo para a indicação e detecção de informações líquidas autoalimentadas, permitindo o controle e monitoramento de líquidos em tempo real nas mais diversas aplicações industriais, trazendo benefícios para a I4.0 e SC.

A abordagem metodológica menos recorrente, identificado no portfólio, foi a teórico-prática. Sittón-Candanedo *et al.* (2019) realizam uma revisão acerca da tecnologia *Edge Computing* (computação de borda), propondo uma arquitetura escalonada que permite gerir complexidade das soluções em ambiente I4.0 e outros, como *Smart Cities* e seus domínios. Conforme discutido pelos autores, o uso da solução *Edge Computing* é ideal para reduzir latência, melhorar a privacidade e reduzir custos em cenários baseados em IoT, e por meio da arquitetura proposta é possível se obter segurança e privacidade por meio da tecnologia *Blockchain*.

Ullah e Al-Turjman (2021) revisam a literatura acerca de *smart contracts* (contratos inteligentes) inseridos na *blockchain* em imóveis inteligentes e propõe uma estrutura conceitual para sua adoção em SC. De acordo com os autores, a estrutura de baseado em *blockchain* vem revolucionando o setor imobiliário inteligente, com os agentes e agências imobiliárias substituindo contratos tradicionais por *smart contracts*, permitindo tomadas de decisão mais informadas através de contratos mais transparentes. Com isso, têm-se como implicações práticas processos de contratação mais imersivos, agradáveis, com segurança e facilidade para os usuários, beneficiando os agentes e concessionários imobiliários com maior volume de negócios devido a relações de confiança reforçadas.

Por fim, Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021) abordaram a problemática dos resíduos de serviços de saúde que são motivo de grande preocupação para os órgãos

ambientais e sociais, evidenciada ainda mais durante a pandemia do COVID-19, devido suas características infecciosas e perigosas. Diante disso, os autores identificaram e analisaram sete critérios relacionados com um sistema inteligente de eliminação de resíduos de serviços de saúde, objetivando recuperar o valor dos descartáveis, utilizando o método *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL). Como resultado do estudo, obteve-se um modelo de relação causal entre impulsionadores da I4.0 e da economia circular para um sistema inteligente de eliminação de resíduos de cuidados de saúde.

A partir da análise das abordagens centrais dos artigos, foram coletados os aspectos relacionados à Indústria 4.0, na Seção 4.2.2 e, posteriormente, relacionados às *Smart Cities*, na Seção 4.2.3, permitindo evidenciar a relação entre os conceitos. As análises foram realizadas em ordem cronológica e por semelhança de temas.

4.2.2 Indústria 4.0: Definições e Tecnologias

A Indústria 4.0 (I4.0) refere-se à digitalização e automação da manufatura, por meio de tecnologias inovadoras, como *Cyber-Physical Systems*, Internet of Things, Big Data, *Cloud Computing*, dentre outras (MATT *et al.*, 2020). De acordo com Oztemel e Gursev (2020), a transição da indústria 3.0 para a 4.0 apresenta como um dos elementos centrais a IoT, como já mencionado por RÜßMANN *et al.* (2015) e Aceto, Persico e Pescapé (2019), permitindo comunicação entre máquinas, entre máquinas e operadores, e uma fabricação mais autônoma, transformando a manufatura baseada em máquinas para digital, como já discutido por Bahrin *et al.* (2016). O conceito de autonomia tornou-se também um motivador dessa transformação, baseando-se em sensores, CPS e outras tecnologias.

Assim, a I4.0 incentiva a ideia de automação, utilizando tecnologias como IoT e *Machine to Machine* (M2M) (máquina para máquina), com fábricas não tripuladas com capacidade de tomar decisão autônoma, conectadas e com troca de dados eficaz (*Cloud Computing* e ERP), gerando e utilizando uma infinidade de dados (Big Data), quebrando barreiras geográficas para comercialização, permitindo a transferência de ideias e sistemas entre empresas e gerando maior consistência, robustez e agilidade (OZTEMEL; GURSEV, 2020), corroborando o mencionado por Zhou, Liu e Zhou

(2015), sendo um dos grandes incentivadores e geradores de oportunidades para as *Smart Cities* (LIN; CHEUNG, 2020; MAJEED et al., 2021).

Assim, foi realizada uma análise das definições abordadas no portfólio, demonstrando as diferentes formas de se conceitualizar o termo Indústria 4.0, conforme identificado no Quadro 4.

Quadro 4 - Definições dos autores do portfólio sobre o tema Indústria 4.0

Autor	Definição
Baccarelli et al. (2017)	Envolve a integração de técnicas avançadas e emergentes das TICs, como IoE, WSNs, Big Data, Fog/Cloud Computing e Internet Móvel, na manufatura, sendo o paradigma resultante da I4.0 a fábrica inteligente.
Moustafa et al. (2018)	A I4.0 busca ser base para os sistemas inteligentes, para as fábricas automatizadas e para as cidades inteligentes, mudando a prestação desses serviços por meio da aplicação de tecnologias como Cyber-Physical Systems (CPS), Cloud e Fog computing, IoT, troca de dados, Big Data, dentre outras, para a tomada de decisão baseada em dados. Além das tecnologias, a I4.0 baseia-se em redes de sensores heterogêneos, dispositivos de comunicação, conectividade e máquinas inteligentes para a produção. A partir da aplicação desses conceitos, o setor 4.0 gera aumento de lucratividade, flexibilidade e redução de desperdício.
Nikitas et al. (2020)	A I4.0 transformou-se em um paradigma que é representado pela computadorização, automação, digitalização e informatização de sistemas industriais, incluindo a adoção de diversas tecnologias, como Cyber-Physical Systems (CPS), IoT, Enterprise Resource Planning (ERP) e Cloud Computing.
Matt et al. (2020)	A Indústria 4.0 refere-se à digitalização e automação da manufatura, por meio de tecnologias inovadoras.
Na et al. (2020)	No contexto da indústria moderna, 4.0 e inteligente, há a presença de maquinários também inteligentes, que funcionam de forma automatizada, sob a regulação de controladores com inteligência artificial, sem supervisão humana, retirando trabalhadores de ambientes adversos e perigosos.
Lin e Cheung (2020)	A Indústria 4.0 concentrou esforços na promoção de inteligência para as indústrias e seus componentes, tecnologias e processos, e na construção de uma produção adaptativa, inteligente e eficiente no uso de recursos, baseando-se em dois principais fatores: integração e interoperabilidade. Essas fábricas inteligentes, promovidas pela I4.0, baseiam-se na aplicação de tecnologias com a cyber-physical system (CPS), que faz cópias virtuais da produção física, permitindo tomada de decisão descentralizada, Digital Twin (DT), que permite a representação virtual de um objeto físico, com facilidade de coleta e análise de informações, dentre outras tecnologias inovadoras.
Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021)	A I4.0 é a abordagem das aplicações tecnológicas inteligentes que possibilitam desenvolver as fábricas inteligentes. Gera um novo paradigma com a fusão do mundo digital e físico por meio de sistemas cibefísicos, gerando novos modelos de negócios que impactam no ambiente de trabalho, bem como possibilitaram o desenvolvimento e avanços das Smart Cities.
Sepasgozar (2021)	Refere-se à conexão entre ambientes físicos e digitais.
Lombardi et al. (2021)	Representa a tendência de automação e troca de dados no contexto da manufatura, incluindo tecnologias como IoT, CPS e Cloud Computing.

Fonte: Autoria própria (2023)

Diante das definições dos autores, define-se a Indústria 4.0 como uma transformação da produção, integrando tecnologias avançadas como a Internet das Coisas, sistemas ciberfísicos, computação de borda, em nuvem e em névoa, inteligência artificial, Big Data, robótica, entre outras, que integram e conectam o mundo físico, digital e os seres humanos, corroborando Smit *et al.* (2016), promovendo automação, digitalização, inteligência, eficiência, ganho de produtividade e sustentabilidade.

Entretanto, assim como evidenciado também nas definições de *Smart Cities*, a maior parte dos estudos sobre a I4.0 abordam os aspectos tecnológicos e de infraestrutura, negligenciando as questões humanas e os aspectos organizacionais, como a segurança dos produtos gerados, treinamento e desenvolvimento profissional contínuo; os aspectos legais, como adaptar a legislação vigente para abranger as novas inovações; e os impactos econômicos, como a produtividade e eficiência dos recursos (MATT *et al.*, 2020). Conforme os autores, abordar a I4.0 somente com visão tecnocêntrica, gera problemática para o desenvolvimento dos conceitos, deixando de lado temas importantes como os desafios e mudanças que o mercado de trabalho enfrentará e as competências necessárias para o futuro (MATT *et al.*, 2020).

De acordo com Oztemel e Gursev (2020), essas transformações impactam na vida social, na melhoria dos processos de manufatura, mas também abre portas para tecnologias vestíveis, máquinas de cooperação e coordenação, sistemas de auto decisão, solucionadores de problemas autônomos, máquinas de aprendizagem, dentre outras, tornando as máquinas mais que somente equipamentos, mas membros da equipe, colaborando na tomada de decisão.

Embora grande parte dos estudos mencionem os impactos das tecnologias do setor 4.0 para a manufatura, e outros segmentos, Oztemel e Gursev (2020) debatem a I4.0 como uma transformação filosófica da sociedade, que incentiva a automatização das fábricas, conecta as empresas, torna a manufatura mais inteligente e flexível, mas também atinge outras áreas, como as da educação e economia, trazendo impactos no padrão de mão de obra adotado, surgindo como requisito da Indústria 4.0 a capacitação dos trabalhadores com novas skills. Nesse contexto, Matt *et al.* (2020) abordam que o perfil do trabalhador ganhará complexidade, necessitando de qualificações superiores, ou seja, acrescentando trabalho de conhecimento, visto que, anteriormente o trabalho humano era de operador - o trabalhador usava e controlava a máquina -, entretanto, com a evolução e automação, as máquinas

passam a ter capacidade cognitiva. Diante disso, Anttila and Jussila (2018) expõe o papel das universidades nessa capacitação e transformação gerada pelo setor 4.0 nas fábricas, sociedade e cidades.

Além das tecnologias e do mercado de trabalho, outro conceito frequentemente debatido nas definições da I4.0 é em relação ao desafio de segurança cibernética e privacidade dos dados. Conforme Moustafa *et al.* (2018), embora muitos benefícios sejam gerados no contexto da I4.0, existem desafios que devem ser combatidos, dentre eles a privacidade e cibersegurança, resultantes de diferentes padrões de fabricação industrial e especificações tecnológicas. Para lidar com esse desafio, é necessário adotar a segurança proativa e reativa dos sensores, dos dados, dos sistemas, do tráfego de rede, dos atuadores, ou seja, deve-se preconizar essa segurança desde a concepção, protegendo o sistema de impactos, permitindo proteger hardwares, softwares e os dados, acrescenta Sacomano *et al.* (2018).

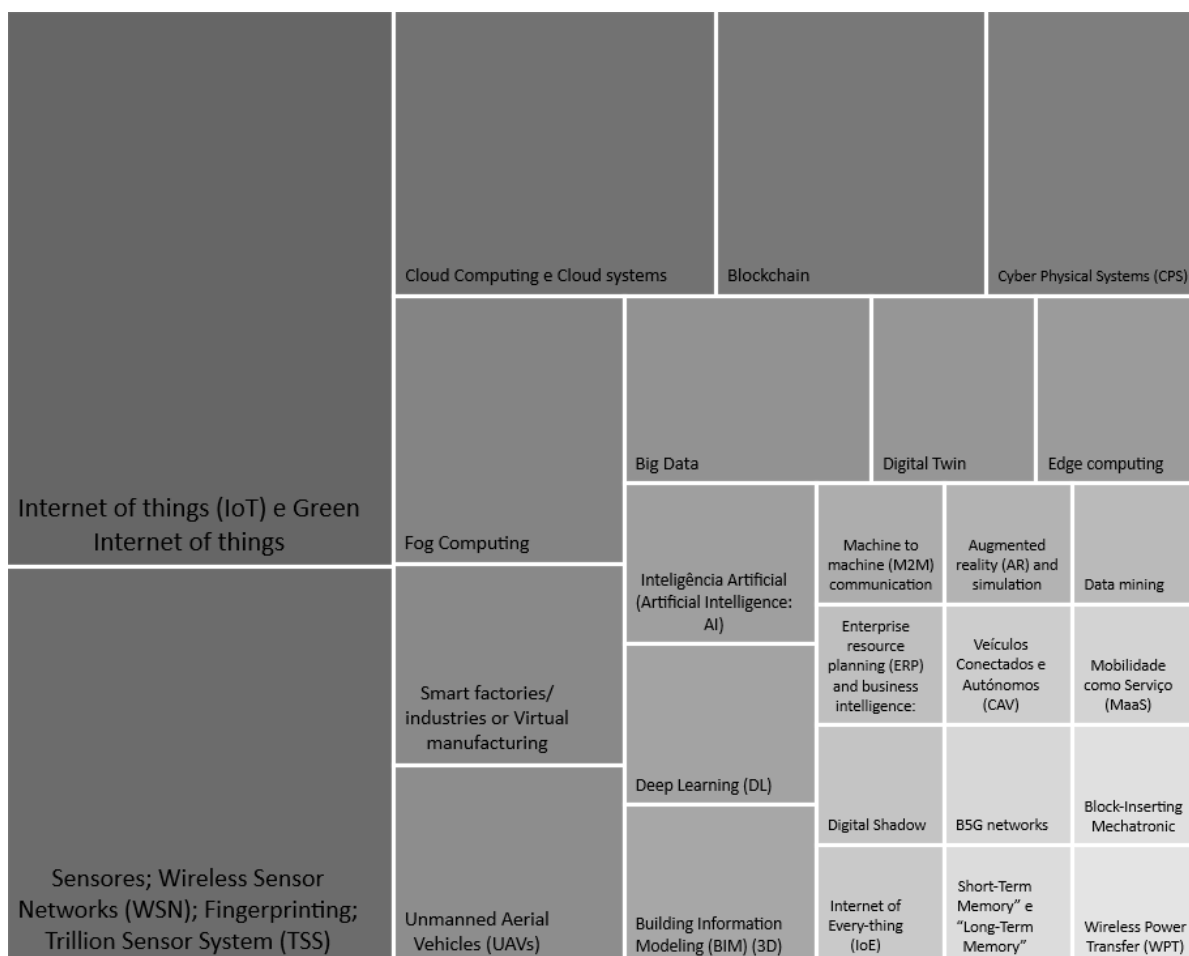
Além disso, outro requisito básico desse setor é a economia sustentável, por meio do aumento de produtividade e redução do consumo energético (SEPASGOZAR, 2021). Sendo assim, surgem abordagens menos frequentes, relacionando a aplicação tecnológica com impactos para o meio ambiente. An *et al.* (2020) abordam que a combinação de tecnologias inteligentes na manufatura, como Big Data e AI, gera a necessidade de suporte de sensores, que acarretam alto consumo energético, aumentando também a complexidade da solução, gerando desafios relacionados ao risco, à estabilidade e à manutenção do sistema.

Assim, conclui-se que as soluções propostas pela I4.0 baseiam-se na aplicação tecnológica, tendo como abordagem mais tradicional a relação da aplicação com os impactos, benefícios e desafios gerados. Desta forma, a seção seguinte irá abordar as tecnologias mais abordadas pelo portfólio.

4.2.2.1 Tecnologias mais recorrentes no portfólio

As principais tecnologias alvo do portfólio foram mapeadas, conforme *treemap* (diagrama de árvore) representado na Figura 11, a qual cada quadrado representa uma tecnologia, e quanto maior a dimensão do quadrado mais recorrente foi sua menção no portfólio.

Figura 11 - Principais tecnologias mencionadas no portfólio



Fonte: Autoria própria (2023)

A aplicação de tecnologias da I4.0 juntamente com o setor inteligente, pode melhorar diversos serviços além de trazer benefícios sustentáveis (ALSAMHI *et al.*, 2021). Assim, dentre as tecnologias mencionadas, verifica-se que a tecnologia mais recorrente no portfólio foi a *Internet of Things*; seguida de sensores em geral, como WSN e TSS; *Cloud*, *Fog* e *Edge Computing*; *Blockchain*; *Cyber-Physical Systems*; *Virtual Manufacturing*; soluções inteligentes para mobilidade, como os UAVs; Big Data; AI; *Deep Learning*; BIM, entre outras.

Conforme Moustafa *et al.* (2018) e Oztemel e Gursev (2020), corroborando Sacomano *et al.* (2018), a IoT é a interconexão entre diferentes dispositivos e aparelhos, conectados à internet, permitindo que eles colem e troquem dados. Essa tecnologia inserida no contexto da manufatura, gera um aumento no volume de dados utilizáveis (FULLER *et al.*, 2020), resultando em tomadas de decisão mais rápidas e assertivas, assegurando colaboração eficiente entre dispositivos e capacidade de monitorização em tempo real (ALSAMHI *et al.*, 2021).

Alsamhi *et al.* (2021) falam que a IoT verde, aliada às UAVs, permite serviços mais eficientes e inteligentes, devido à capacidade de coleta de dados dos UAVs, como drones, e dos dispositivos IoT, sobrevoando plantações, casas e cidades, com diversos campos de aplicação, como Big Data, *cloud computing*, *Smart Cities*, *smart home*, *smart grids*, *smart agriculture*, aplicativos móveis, indústrias cibernéticas, *smart healthcare*, setor automotivo, dentre outros (ALSAMHI *et al.*, 2021; LOMBARDI; PASCALE; SANTANIELLO, 2021). De acordo com os autores, essa solução de coleta de dados anteriormente era realizada por humanos, sendo dispendiosa e difícil, e por meio do uso das tecnologias do setor 4.0 essa atividade tornou-se mais eficiente, ecológica, impulsionando o desenvolvimento de sistemas e aplicativos mais inteligentes e sensíveis ao contexto (MCKEE *et al.*, 2018).

Outra tecnologia recorrente são os sensores, em seus diversos tipos e aplicações. De acordo com Moustafa *et al.* (2018), os sensores, dispositivos de baixo custo, tornaram-se dispositivos conectados à internet, e foram responsáveis pelo crescimento da IoT. Walker-Roberts *et al.* (2020) discutem que as transformações geradas pelo setor 4.0, como as SC, são provenientes de uma maior integração de elementos físicos e digitais. Nesse contexto, muito se discute sobre a utilização de sensores para as soluções, como abordado por An *et al.* (2020), que discutem que os sensores aplicados aos sistemas industriais resultam em progresso da I4.0, das SC e do setor de transporte, por exemplo. Em contrapartida, Shan *et al.* (2018) mencionam o problema do uso massivo de sensores em SC, discutindo que nem todos possuem fonte de alimentação conectada, tornando um desafio manter energia disponível suficiente para esses dispositivos sem fio, afetando tanto a vida útil dos dispositivos, como a funcionalidade das aplicações. Nesse contexto, os autores mencionam que a tecnologia WPT vêm sendo desenvolvida e testada a fim de tratar o problema.

De acordo com Lombardi *et al.* (2021), os sensores são essenciais para permitir a conexão entre os dispositivos e ambientes externos e/ou humanos, gerando dados que permitem realizar as mais diversas análises. Sua adoção permite solucionar diversos tipos de problemas, como na área médica, com os sensores médicos vestíveis ou discretos (ISLAM *et al.*, 2020); para gestão e controle de poluição ambiental, como poluição do ar em estacionamentos (LIN; CHEUNG, 2020); para detectar comportamentos, permitindo aumentar a segurança dos dispositivos e dos dados (SANCHEZ *et al.*, 2021); dentre outras aplicações.

Outra tecnologia muito discutida no contexto da I4.0 é a *cloud computing*, ou computação em nuvem. Esse termo é utilizado para se referir a mudança das soluções tradicionais para as soluções baseadas em nuvem, com serviço de armazenamento online, com aplicativos baseados na Web (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Conforme os autores, esse tipo de soluções permite o fornecimento de sistemas mais rápidos e autônomos, atualizações rápidas, sendo uma boa fonte para lidar com o imenso número de dados. Tem como atributos a dimensionamento vertical de recursos; grande e centralizado; cobertura onipresente e resistente a falhas; suporte limitado à mobilidade de dispositivos; fornecimento de energia ilimitado; suporte limitado à heterogeneidade do dispositivo, dentre outros (BACCARELLI *et al.*, 2017). De acordo com Sittón-Candanedo *et al.* (2019), corroborando Rimal *et al.* (2011), essa tecnologia tem como vantagem ser escalável, permitir o processamento de Big Data, e ter um processamento computacional ilimitado, porém, como desvantagem apresenta alta latência, um tempo de resposta lento, não apresenta modo offline, e apresenta riscos à segurança.

Além da *cloud computing*, a *fog* e *edge computing* também foram discutidas no portfólio. Mahmud, Ramamohanarao e Buyya (2020) discutem que a execução de aplicações IoT centradas na nuvem dificilmente conseguem satisfazer os requisitos de tratar grandes volumes de dados com serviços de processamento de diferentes tipos de dados em tempo real, isso porque na nuvem os centros de dados se encontram a distância dos dispositivos IoT. Nesse contexto, a *fog computing*, ou computação em névoa, é uma extensão da nuvem na rede periférica de baixa latência, descentralizada e com arquitetura de segurança, permitindo executar as aplicações mais perto da fonte de dados, permitindo reduzir o tempo de entrega dos serviços evitando congestionamentos.

De acordo com Sittón-Candanedo *et al.* (2019), a *fog computing* tem como vantagem a segurança definida pelo usuário e baixa latência. Baccarelli *et al.* (2017) e Mahmud, Ramamohanarao e Buyya (2020) mencionam como benefício da tecnologia o custo mais baixo de seus nós, reduzindo assim o custo operacional dos provedores, economia de energia e melhora na qualidade da experiência e dos serviços. Entretanto, a tecnologia também apresenta desvantagens, como um armazenamento limitado e a necessidade de mais links de nuvem do que computação de borda para mover dados do ambiente físico para a camada digital (SITTÓN-CANDANEDO *et al.*, 2019).

Por fim, na *edge computing*, ou computação de borda, as atividades dos dispositivos IoT ocorrem na fronteira ou na borda da rede, ou seja, não é feito o processamento dos dados na nuvem, ele realiza um pré-processamento e então envia para os servidores remotos, logo, mais próximo ao dispositivo emissor, sendo uma solução eficaz para reduzir latência e melhorar a privacidade da rede (SITTÓN-CANDANEDO *et al.*, 2019). De acordo com Sittón-Candanedo *et al.* (2019), esta tecnologia tem como vantagem a possibilidade de resposta em tempo real, latência muito baixa, e pode funcionar isoladamente, sem nuvem ou névoa. Já como desvantagens, a *edge computing* também apresenta armazenamento limitado, deve ser interconectado por meio de redes proprietárias e apresenta um alto consumo de energia.

Os *cyber-physical systems*, ou sistemas ciberfísicos, integram processos físicos e de computação, sendo essencial para o setor 4.0. Aplicam-se para o monitoramento de processos, contribuem para um sistema de grande escala, lidando com confiabilidade eficaz, interação com usuário, monitoramento de desempenho em tempo real, tomada de decisão, comunicação distribuída e interconectada (OZTEMEL; GURSEV, 2020). De acordo com Moustafa *et al.* (2018) e McKee *et al.* (2018), o setor 4.0 apoia a integração entre CPS, sensores, IoT, *cloud* e *fog computing* para gerar soluções, mas com isso, surgem desafios e vulnerabilidades (ABBAS *et al.*, 2021), como a gestão de dados, provenientes de fontes heterogêneas e em grandes quantidades, dificultando a segurança das informações em um sistema que interage com o ambiente físico, evidenciando outro tema recorrente na abordagem da Indústria 4.0 e *Smart Cities*.

Nesse contexto de vulnerabilidade, segurança e privacidade gerado pelo aumento de dispositivos conectados em rede (ABBAS *et al.*, 2021), uma das tecnologias mais mencionadas é a *blockchain*. Conforme Majeed *et al.* (2021), essa tecnologia oferece maior segurança às transações visto que armazena as informações em um livro-razão seguro, transparente, descentralizado e imutável. Esse livro-razão é organizado em uma cadeia de blocos, e as transações em bloco são organizadas na forma de uma árvore de dispersão, que usam *hash* criptográfico para armazenar transações de forma imutável, sendo que as transações são assinadas com assinatura digital usando criptografia assimétrica, promovendo maior segurança, com a lógica do negócio sendo executada por meio de *smart contracts*. De acordo com os autores, a *blockchain* vem sendo adotada em diversas aplicações nas SC, como e-

commerce inteligente, votação eletrônica inteligente, para transporte inteligente, saúde inteligente, energia inteligente, gestão da cadeia de suprimentos, gerenciamento inteligente de propriedades e moradias inteligentes, ou seja, espera-se que a *blockchain* auxilie no combate aos principais desafios das cidades, por meio de um ecossistema inteligente, promovendo desenvolvimento social, governamental, tecnológico e econômico.

Tecnologias aplicáveis à mobilidade inteligente foram foco de alguns autores, como Aggarwal, Kumar e Tanwar (2021) e Alsamhi *et al.* (2021) que abordaram soluções para a mobilidade inteligente, dentre outros serviços, por meio da tecnologia *unmanned aerial vehicles*. Conforme Alsamhi *et al.* (2021), os UAVs podem agir como uma estação base aérea fornecendo serviços de comunicação com ampla área de cobertura, com potencial de melhorar drasticamente a qualidade de vida das pessoas, gerar inteligência às cidades e aumentar a eficiência econômica global, promovendo soluções mais eficientes no ambiente das SC e I4.0 (AGGARWAL; KUMAR; TANWAR, 2021). De acordo com Nikitas *et al.* (2020), UAVs, como drones, representam a revolução gerada pela AI e tecnologias sem fio para o transporte aéreo, podendo ser adotados a diversos serviços, como para vigilância, patrulha de fronteiras, controle de segurança civil, monitorização ambiental, meteorologia, detecção de incêndios florestais, topografia, detecção remota, mapeamento aéreo, busca e salvamento de emergência, dentre outros. Muitas dessas atividades afetam e refletem a funcionalidade dos serviços das SC (NIKITAS *et al.*, 2020; AGGARWAL; KUMAR; TANWAR, 2021).

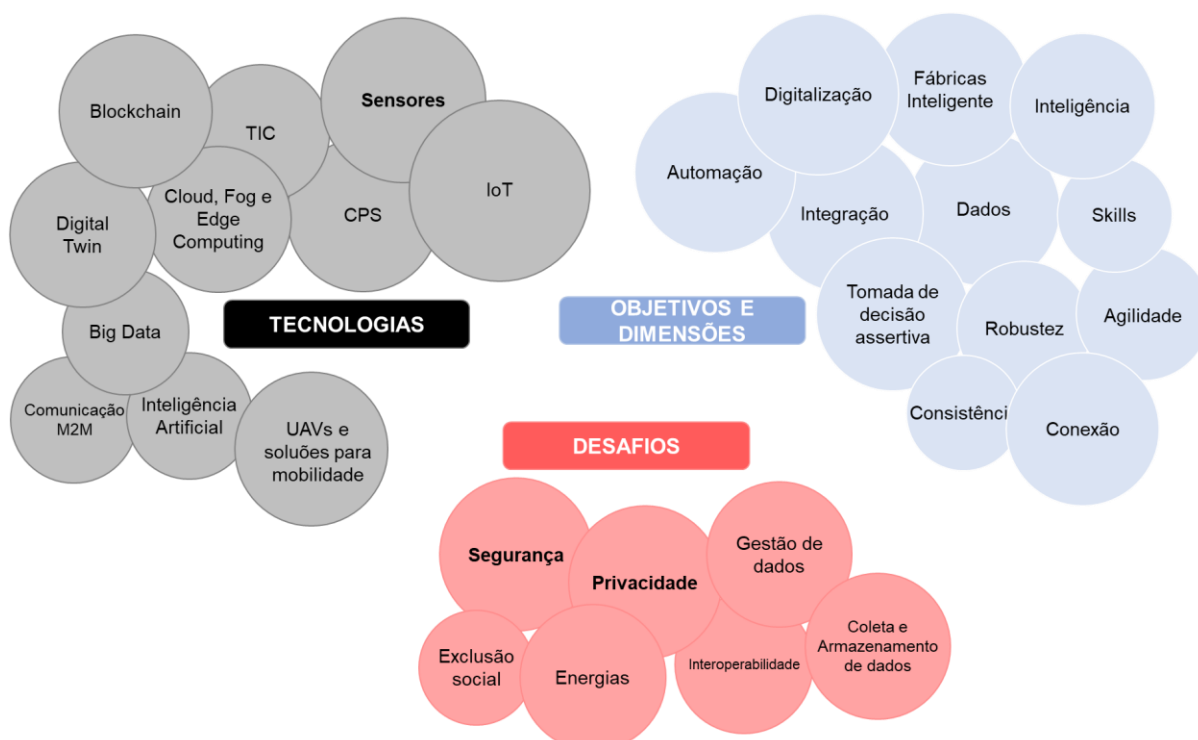
Ainda para a mobilidade inteligente, foi mencionada a *mobility as a service*, sendo um pacote de mobilidade multimodal, que irá substituir os veículos privados por meio do uso de uma plataforma online inteligente que fornecerá planejamento de viagens, reservas, emissão de bilhetes inteligentes e serviços de informação em tempo real. Por meio desse conceito, há a possibilidade de diminuir o número de veículos particulares, reduzindo assim o congestionamento das vias, dentre outros benefícios (NIKITAS *et al.*, 2020).

Fuller *et al.* (2020) e Sepasgozar (2021) abordam a tecnologia *digital twin* do setor 4.0, como uma ferramenta útil no trabalho autônomo e fábricas inteligentes, fornecendo status de maquinários em tempo real e feedback da linha de produção, promovendo maior confiabilidade e desempenho, além de promover maior

sustentabilidade na produção, com redução de consumo energético por meio da maior eficiência.

Como observado, diversas tecnologias foram mencionadas ao longo do portfólio, focando nos mais diversos contextos. A partir dessa análise de conteúdo, foi desenvolvido um resumo das estruturas principais que compõem o conceito Indústria 4.0, conforme Figura 12.

Figura 12 - Tecnologias, objetivos e desafios da I4.0



Fonte: Autoria própria (2023)

4.2.3 Smart Cities: Definições e Dimensões

Inicialmente, foram identificadas as formas de descrever as *Smart Cities* (SC). Iniciativas com o intuito de tornar as cidades tradicionais em inteligentes vêm progredindo de forma acelerada, dentre os motivos, a acelerada urbanização e sua consequente demanda por serviços essenciais, como já destacado por Bayulken e Huisingh (2015) e Li *et al.* (2019), como educação, saúde, emprego, moradia, transporte, dentre outros (MCKEE *et al.*, 2018; ABBAS *et al.*, 2021), o anseio e necessidade de gerar serviços mais inteligentes e eficientes (MAHMUD;

RAMAMOHANARAO; BUYYA, 2020) e de gerar fábricas inteligentes, conceito também dependente da evolução da Indústria 4.0 (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Embora seja um conceito tendência, diversos autores apontam o desafio de compreendê-lo, visto que não existe uma definição unificada e globalmente aceita (ANTTILA; JUSSILA, 2018; MCKEE *et al.*, 2018; ROMERO *et al.*, 2020; CHAUHAN; JAKHAR; CHAUHAN, 2021). De acordo com Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021), o conceito de SC é abrangente, compreendendo diferentes domínios, processos e atores que se baseiam na prestação de serviços essenciais para melhoria na qualidade de vida dos cidadãos, como já destacado anteriormente por Capdevila e Zarlenga (2015) e Corsi *et al.* (2022). Conforme McKee *et al.* (2018), essas definições podem basear-se em aspectos como computação, conectividade, dados, eficiência, infraestrutura e serviços.

Embora existam diferentes abordagens, verifica-se uma tendência de conceituá-las por meio da aplicação tecnológica, prática criticada na literatura (NIKITAS *et al.*, 2020; ROMERO *et al.*, 2020), e discutida em Corsi *et al.* (2022), que concluem que embora a tecnologia seja um eixo essencial para o desenvolvimento das *Smart Cities*, somente a aplicação tecnológica não possibilita promover inteligência. Portanto, faz-se necessário que essas tecnologias sejam orientadas para solucionar problemas dos cidadãos e das cidades, problema também evidenciado por Albino, Berardi e Dangelico (2015).

De acordo com Romero *et al.* (2020), existem os teóricos que relacionam a inteligência principalmente com a aplicação tecnológica, como TICs, e outras *skills*, como conhecimento, aprendizagem, adaptação, detecção e atuação, enquanto que outros teóricos as definem com uma visão mais holística, envolvendo a cooperação de diferentes fatores, como políticas, economia, governança, educação, tecnologias, sustentabilidade, recursos humanos, dentre outros, para gerar qualidade para um determinado ambiente e seus habitantes. Assim, o Quadro 5 compreende algumas das definições adotadas no portfólio, ordenadas por ordem cronológica de publicação dos artigos.

Quadro 5 - Definições dos autores do portfólio sobre o tema Smart Cities

Autor	Definição
Baccarelli et al. (2017)	Refere-se à integração entre TICs e Internet of Everything (IoE) no ambiente urbano, resultando em serviços essenciais mais inteligentes e otimizados, e gerando melhor qualidade de vida aos cidadãos.
McKee et al. (2018)	Compreendem aspectos tecnológicos, institucionais, humanos e a dimensão virtual de dados, sendo composta por sistemas e agentes, incluindo humanos e infraestrutura computacional. Define-se como um sistema ciberfísico, dependente de autonomia inteligente, computação distribuída, Io, reunindo tecnologia, governança e aspectos sociais para gerenciar as infraestruturas essenciais, como energia, comunicação, meio ambiente, tráfego, e outros, objetivando gerar qualidade de vida para os habitantes, crescimento econômico, inovação e conectividade.
Anttila e Jussila (2018)	São cidades que visam integrar ambiente físico, digital e humano a fim de gerar soluções, serviços e infraestruturas mais inteligentes, sustentáveis, prósperas e inclusivas aos habitantes, nas diferentes dimensões, como cidadãos inteligentes, governança, educação, segurança, saúde, moradias, infraestrutura, transporte, mobilidade, energia e tecnologias, satisfazendo as necessidades da população. Para isso, baseia-se em inovação, tecnologia da informação, tecnologias digitais, como rede móvel 5G, IoT, Big Data, Blockchain, Inteligência Artificial promovendo o desenvolvimento ilimitado das cidades, sendo a digitalização e as TICs os principais impulsionadores da inteligência das cidades.
Romero et al. (2020)	Visa conectar todos os elementos de uma cidade, com serviços essenciais, pessoas, empresas, por meio de tecnologias inovadoras, como 5G, sensores, IoT, Inteligência Artificial, a fim de elevar a qualidade de vida dos cidadãos.
Nikitas et al. (2020)	O conceito de SC não deve se limitar apenas a aplicação tecnológica, visto que envolve diversos outros fatores, como sustentabilidade e tomada de decisão estratégica. Assim, uma SC incorpora elementos TICs a fim de melhorar os serviços, reduzindo custos e otimizando o consumo de recursos.
Lin e Cheung (2020)	Smart City refere-se ao uso de tecnologias de informação para melhorar a prestação de serviços urbanos e sua gestão, e otimizar a utilização de recursos.
Aghimien et al. (2020)	Refere-se a conexão entre humanos e o espaço cibernético, que promove melhorias na eficiência econômica e política e desenvolvimento social e cultural por meio da aplicação tecnológica, tendo como propósito central melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.
Lombardi, Pascale e Santaniello (2021)	Aplicação de tecnologias nos serviços urbanos resultando em melhor qualidade de vida dos habitantes.
Guan et al. (2021)	As SC são apoiadas por uma diversidade de tecnologias de informação móvel, como IoT, Cloud Computing, dentre outras.
Majeed et al. (2021)	Ecossistema composto de serviços e ambientes inteligentes que promovem melhor estilo e qualidade de vida aos cidadãos, atenuando os problemas das cidades vigentes, como crescimento populacional e infraestrutura insuficiente.
Abbas et al. (2021)	As SC objetivam melhorar os serviços ofertados aos habitantes, promovendo melhor qualidade de vida aos cidadãos, por meio da aplicação de tecnologias, como a IoT, Cloud Computing, sensores, dados e inovações do setor 4.0. Embora tenha gerado benefícios para os cidadãos, também apresenta vulnerabilidades, como a segurança de dados.

Fonte: Autoria própria (2023)

Em suma, observa-se que as *Smart Cities* são ecossistemas composto por diferentes elementos, como serviços, pessoas, empresas, que promovem a integração/conexão entre os habitantes e o espaço cibernético, ou seja, ambientes físico, digital e humano, por meio de tecnologias como as TICs, IoT, AI, rede móveis 5G, *Blockchain*, Big Data, *Machine Learning*, automação, *Cloud Computing*, dentre outras tecnologias do setor 4.0, a fim de melhorar o planejamento urbano, as infraestruturas e os serviços essenciais ofertados aos cidadãos, resultando em melhoria na qualidade de vida e bem-estar da população, além de outros benefícios como eficiência energética, indústrias inteligentes, produtividade, melhora na economia e governança, benefícios ambientais e sociais, dentre outros. Espera-se que com essa estrutura as cidades ofereçam serviços mais interconectados e inteligentes, cidades mais habitáveis, seguras, sustentáveis e resilientes (MAJEED *et al.*, 2021).

Nesse contexto, além dos aspectos tecnológicos, recursos e humanos, outro aspecto surge como necessidade. Visto que as SC almejam tornar-se cidades baseadas no conhecimento, as universidades ganham papel essencial, promovendo desenvolvimento urbano, economia e coesão social, por meio da capacitação e qualificação dos cidadãos (ANTTILA; JUSSILA, 2018).

Para que as soluções inteligentes sejam efetivamente implementadas nas *Smart Cities*, essas devem ser alinhadas ao contexto da cidade, necessitando avaliar criticamente os problemas para desenvolver uma solução cabível (AGHIMIEN *et al.*, 2020). Diante disso, surge-se a necessidade de compreender as estruturas que compõem essas cidades. Assim, os autores apresentam essas estruturas por meio das dimensões, ou domínios. Majeed *et al.* (2021) mencionam as estruturas moradia, saúde, educação, energia, transporte, serviços públicos, água, vigilância e aplicação da lei. Já Anttila e Jussila (2018), de forma mais abrangente, mencionam os domínios cidadãos inteligentes, governança inteligente, educação inteligente, segurança inteligente, saúde inteligente, moradias inteligentes, infraestrutura inteligente, transporte inteligente, mobilidade inteligente, energia inteligente e tecnologias inteligentes, sendo dimensões que podem ser englobadas nas seis dimensões propostas por Giffinger *et al.* (2007).

A partir das dimensões, verificou-se que algumas foram mais recorrentes que outras no portfólio. O domínio mais explorado foi do transporte/mobilidade inteligente. Nikitas *et al.* (2020) focam na mobilidade inteligente, justificando que o transporte é

um serviço decisivo para transmitir funcionalidade, desenvolvimento e prosperidade a uma cidade. Também com esse foco, Abbas *et al.* (2021) justificam que o transporte é essencial para as cidades, visto que permite o acesso aos demais serviços básicos, como o trabalho, sendo fundamental para melhorar o padrão de vida dos cidadãos. Assim, diferentes tecnologias foram exploradas para auxiliar na dimensão do transporte e mobilidade, como os UAVs (NIKITAS *et al.*, 2020; ALSAMHI *et al.*, 2021), AI (NIKITAS *et al.*, 2020); IoT para monitoramento de tráfego (WANG *et al.*, 2021); sensores para transporte seguro (AN *et al.*, 2020) e *blockchain* aliado a IoT para transporte seguro (ABBAS *et al.*, 2021).

Lin e Cheung (2020) focam em impactos gerados pelo crescimento da circulação de veículos e do tráfego, que afetam, além das questões de mobilidade, na poluição do ar, sendo um desafio para as cidades, preocupação destacada nos relatórios da ONU, mencionado anteriormente (UN, 2019), bem como sendo um dos alvos dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos em resolução pela Assembleia Geral das Nações Unidas (UN, 2015). Nesse sentido, os autores abordam a questão dos estacionamentos subterrâneos, que, para otimizar o espaço, permitem grandes quantidades de veículos, sem considerar a poluição do ar gerada em espaço fechado, sendo necessário um sistema inteligente de monitoramento e controle ambiental dos gases emitidos nesses espaços, para manter a qualidade do ar e a segurança das pessoas.

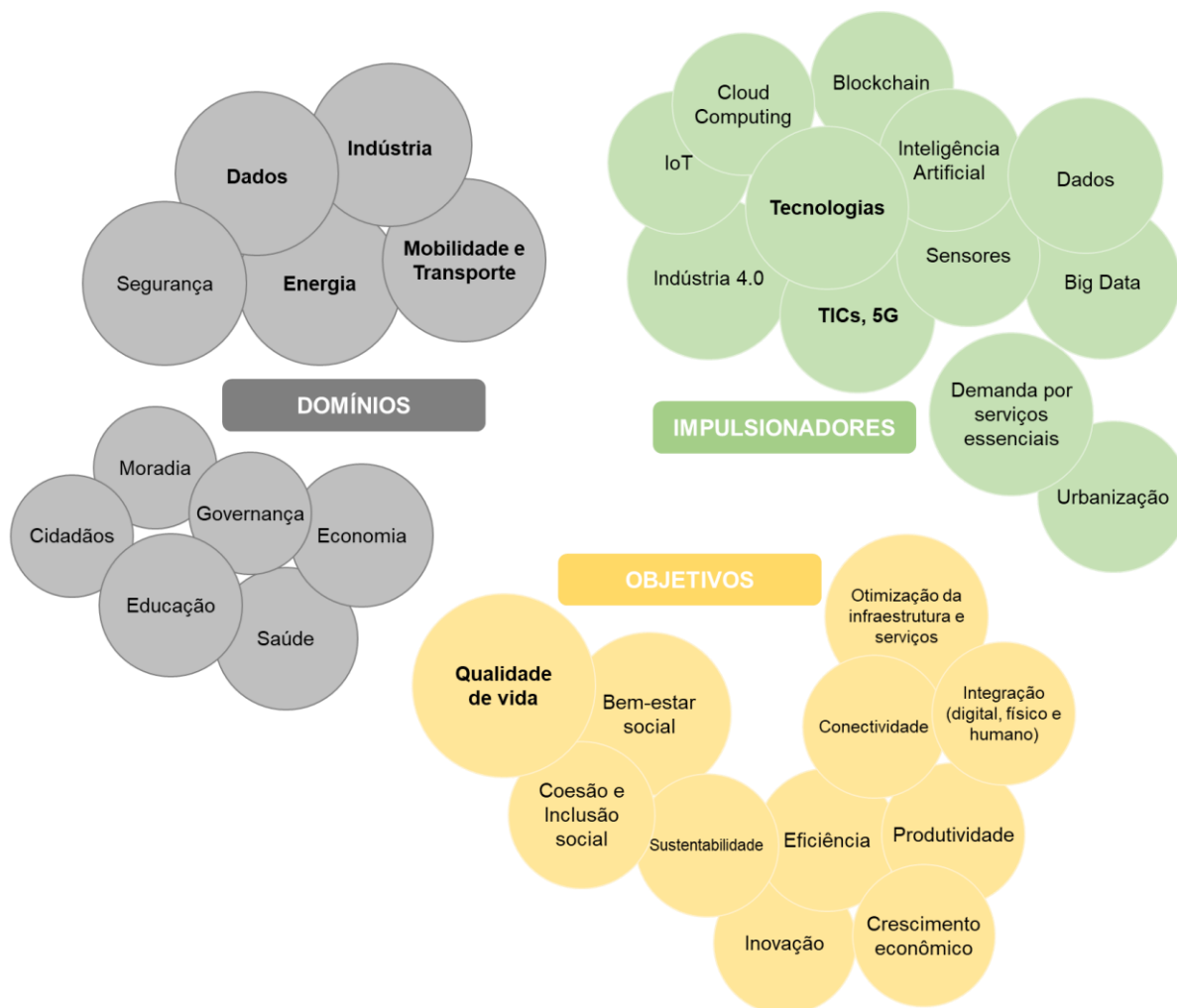
Além da dimensão de transportes e mobilidade, outro foco recorrente é a dimensão tecnológica. Guan *et al.* (2021) focam na questão de segurança da rede de sensores em ambiente com IoT, e outros diversos autores focam em tecnologias específicas, como Sanchez *et al.* (2021) abordando a tecnologia *fingerprinting*; Sittón-Candanedo *et al.* (2019) abordam a *edge computing*; Mahmud, Ramamohanarao e Buyya (2020), assim como Baccarelli *et al.* (2017) abordam a *fog computing*; Majeed *et al.* (2021), assim como Aggarwal, Kumar e Tanwar (2021), Guan *et al.* (2021), além de Ullah e Al-Turjman (2021) abordam a *blockchain* para aplicações distintas, como redes inteligentes e contratos inteligentes; Lombardi, Pascale e Santaniello (2021), bem como Islam *et al.* (2020) abordam as aplicações IoT, enquanto Shan *et al.* (2018) focam na comunicação sem fio.

Outro foco adotado no portfólio foi na dimensão da saúde. Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021) abordaram o uso de tecnologias do setor 4.0, juntamente com conceitos da economia circular, para o planejamento da disposição de resíduos de

serviços de saúde e Fuller *et al.* (2020) abordaram a tecnologia *digital twin* para promover a saúde inteligente.

Assim, a partir da análise de conteúdo, foram definidos os conceitos de *Smart Cities*, suas dimensões, as estruturas que impulsionam seu desenvolvimento e os objetivos que as regem, conforme Figura 13.

Figura 13 - Domínios, objetivos e impulsionadores para o desenvolvimento das Smart Cities



Fonte: Autoria própria (2023)

Após realizadas as análises referentes aos temas centrais Indústria 4.0 e *Smart Cities*, suas definições, dimensões e principais tecnologias, a próxima seção irá abordar a relação entre os temas, além de explicitar os principais desafios e oportunidades deste relacionamento.

4.2.4 Relação entre Smart Cities e Indústria 4.0

A partir da definição dos conceitos de *Smart Cities* e Indústria 4.0 foram identificadas a relação identificada entre essas cidades inteligentes e o setor 4.0, bem como suas tecnologias. Assim, Oztemel e Gursev (2020) discutem que as SC estão progredindo em alta velocidade, apoiando-se no setor 4.0, o que impulsiona também o desenvolvimento de fábricas inteligentes. Nesse contexto, Matt *et al.* (2020) discutem que um desafio para a implementação da I4.0 e para o desenvolvimento de indústrias inteligentes e SC, é a falta de qualificação de trabalhadores, evidenciando a necessidade de se abordar tanto a I4.0, quanto as estruturas inteligentes, com foco nos recursos humanos.

Nesse contexto, Anttila e Jussila (2018) discutem o papel das universidades para o desenvolvimento inteligente da sociedade e das cidades, por meio de iniciativas de planejamento, capacitação e uso de tecnologias, provenientes do setor 4.0, resultando em melhorias de planejamento, aumento de eficiência energética, soluções de transporte, dentre outras, evidenciando os benefícios gerados entre essa relação entre sociedade, universidades e inovação.

Também com foco em fábricas inteligentes, incluindo o aspecto de transporte seguro, An *et al.* (2020) abordam tecnologias do cenário 4.0 baseadas em sensores e nanogeradores para uso industrial que promoverão benefícios e progressos nas SC, e especificamente no domínio do transporte inteligente e seguro.

Já Lombardi, Pascale e Santaniello (2021) expõe a crescente de dispositivos conectados e geradores de dados. Conforme os autores, esses dispositivos, baseados em sensores e IoT, interagindo com o ambiente e com o ser humano, traduzem a realidade por meio da digitalização e podem ser aplicados aos mais diversos contextos das SC, como para desenvolver estradas inteligentes e indústrias inteligentes.

Fuller *et al.* (2020) debatem que a *digital twin* pode promover o crescimento das SC, permitindo realizar testes dentro de um gêmeo virtual, testando cenários e gerando aprendizado ao DT por meio dos dados coletados. Além disso, os autores abordam que a aplicação do DT pode beneficiar áreas específicas das SC, como para gestão de tráfego e para energia renovável.

Também, Sepasgozar (2021) aborda a problemática ambiental da indústria da construção, atribuindo mais de 50% das emissões de carbono e consumo de energia

à construção e às cidades. Diante do contexto, o autor discute que a I4.0, com suas tecnologias e transformação digital, são aliados no combate dos impactos ambientais, promovendo maior produtividade. Nesse contexto, a DT, que permite a representação digital de um objeto físico que pode funcionar nas adversidades, em condições extremas e áreas remota, é uma tecnologia facilitadora da implementação da Indústria 4.0 nas *Smart Cities* e nas áreas construídas.

Ainda abordando impactos ambientais, Lin e Cheung (2020) discutem um problema das SC específico: o impacto ambiental gerado pela poluição do ar em estacionamentos das cidades. De acordo com os autores, o uso de tecnologias adotadas no setor 4.0, WSN, BIM e DT para monitoramento e controle da poluição do ar em estacionamentos, permite uma gestão mais eficaz desse domínio das SC.

Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021) citam um domínio específico das SC, o *smart health*, que abrange, dentre outros, o problema de eliminação de resíduos da saúde, problema esse que ganhou ainda mais desta que após a pandemia do COVID-19. Conforme discutido pelos autores, o uso de conceitos da I4.0, por exemplo, pode ser eficaz no planejamento das SC e nos sistemas de eliminação de resíduos da saúde, adotando, por exemplo, rotulagem com tecnologia de identificação por radiofrequência dos resíduos; rastreamento dos veículos de coleta; conexão digital entre hospitais, empresas de descarte e conselho de controle de poluição; digitalização de chaminé em locais de eliminação de resíduos para calcular eficiência energética e impactos das emissões; dentre outras medidas.

Nikitas *et al.* (2020) dissertam como as tecnologias da I4.0, como AI, podem ajudar a estabelecer a nova era das SC. Conforme os autores, um dos principais domínios das SC que pode se beneficiar da AI é o de mobilidade, que podem ser significativamente melhorados por meio de soluções e sistemas de transporte inteligentes e automatizados.

Aggarwal, Kumar e Tanwar (2021) e Alsamhi *et al.* (2021) abordam que o uso de UAVs podem fornecer soluções eficazes para diversas áreas das SC, como para aquisição e disseminação de dados, vigilância por meio de áudio e vídeo, gestão de catástrofes, agricultura, comunicação, transporte, monitorização de poluição, fotografia aérea, cuidados médicos em tempo real, dentre outras. O uso dessa tecnologia para os mais diversos domínios das SC auxilia a elevar a qualidade de vida da população, além de gerar maior eficiência econômica global (ALSAMHI *et al.*, 2021).

Também com foco em vigilância, Wang *et al.* (2021) levantam as questões de segurança das SC. Conforme os autores, a vigilância e monitorização em tempo real em ambientes complexos com recursos restritos tornam-se um grande desafio. Aliado a isso, os métodos tradicionais não consideram as especificidades do alvo. Assim, os autores propõem uma solução por meio de visualização e monitorização automática em tempo real dos ambientes, sustentada por tecnologias da I4.0, como a IoT, utilizando alternância entre memória de longo prazo e de curto prazo considerando as características de aparência do alvo.

Romero *et al.* (2020) discorrem a inteligência em diversos domínios, que representam os *smart systems*, como *smart city*; *smart home*; *smart industry* e *smart service*. Conforme estudo proposto pelos autores, alguns atributos formam um *smart system*, considerado como um sistema que atualiza seus conhecimentos internos para tomadas de decisão ótimas, como capacidade de comunicação, conhecimento incorporado, capacidade de aprendizagem, capacidade de raciocínio, capacidade de percepção e capacidade de controle. Como conclusão, os autores vincularam temas como tecnologia e comunicação, conhecimento, aprendizagem, adaptação, detecção e atuação para definir os *smart systems*.

Guan *et al.* (2021) abordam o desafio de segurança, fiabilidade e privacidade no contexto das SC. De acordo com os autores, a Indústria 4.0 proporciona desenvolvimento seguro as cidades e suas transações, por meio de tecnologias como a IoT, WSN e *blockchain*. Com foco também em segurança, especificamente do ambiente cibernético, Walker-Roberts *et al.* (2020) discutem que assim como esses desafios, o desenvolvimento e inovações como as SC e I4.0, são provenientes da maior integração entre elementos físicos e digitais, que conectam cada vez mais dispositivos e geram novas vulnerabilidades e ameaças à segurança.

Também com foco na implementação da tecnologia *blockchain*, Ullah e Al-Turjman (2021) explicam que o uso de tecnologias do setor 4.0, como *smart contract* baseado em *blockchain*, transformam as moradias tradicionais em moradias inteligentes, promovendo, conseqüentemente, cidades mais inteligentes. McKee *et al.* (2018), nesse contexto da relação entre Indústria 4.0, *Smart Cities* e segurança e privacidade dos dados, discutem que o uso de tecnologias do setor 4.0, como a *cloud*, *edge* e *fog computing*, embora aplicadas aos domínios de Big Data e *deep learning*, não são adequadas para lidar com a complexidade de sistemas conectados, inteligentes e autônomos.

Conforme Abbas *et al.* (2021), as SC, apoiadas pelas tecnologias da I4.0, oferecem aos cidadãos serviços mais inteligentes, resultando em qualidade de vida. Entretanto, o apoio de serviços por tecnologias como IoT, nuvem, mídias sociais, e outras baseadas na Indústria 4.0, também resultaram em novas vulnerabilidades aos dados e serviços, impactando os diversos domínios das SC. Assim, os autores apontam para o setor de transporte inteligente, que necessita de serviços inteligentes e seguros, para justificar a necessidade de estudos na área.

Após identificada a relação entre *Smart Cities* e Indústria 4.0, na seção seguinte serão apontados os principais desafios do relacionamento entre os temas.

4.2.4.1 Desafios do relacionamento entre Smart Cities e Indústria 4.0

A partir da análise de conteúdo, inicialmente foram coletados os desafios gerados pelo setor 4.0, pelas soluções das *Smart Cities*, bem como as principais dificuldades encontradas na aplicação tecnológica em ambos os contextos.

Diante disso, verificou-se que a segurança e privacidade é o desafio mais recorrente (MOUSTAFA *et al.*, 2018; SITTÓN-CANDANEDO *et al.*, 2019; OZTEMEL; GURSEV, 2020; FULLER *et al.*, 2020; MAJEED *et al.*, 2021; SANCHEZ *et al.*, 2021; AGGARWAL; KUMAR; TANWAR, 2021; LOMBARDI *et al.*, 2021; GUAN *et al.*, 2021), como já destacado por Kiel, Müller e Arnold (2017). Lombardi, Pascale e Santaniello (2021) mencionam a dificuldade em armazenar e compartilhar dados, sem que se afete às questões de segurança e privacidade dos dados. Visto que as soluções inteligentes das SC são baseadas em informação, a segurança e privacidade dos dados tornam-se preocupações centrais nessas cidades, requerendo como competências essenciais dos parceiros de desenvolvimento das iniciativas inteligentes o conhecimento de gestão da privacidade, de gestão da segurança da informação e de gestão da segurança cibernética (ANTTILA; JUSSILA, 2018).

Nesse contexto, Walker-Roberts *et al.* (2020) mencionam que como componentes tecnológicos vêm sendo cada vez mais adotados em infraestruturas críticas, os riscos de ataques à segurança tornam-se cada vez mais preocupantes e dignos de atenção na literatura. Também, os autores abordam que grande parte das ocorrências que afetam a segurança são provenientes de erro humano, sendo necessário reavaliar os princípios básicos da segurança cibernética. Para exemplificar essa vulnerabilidade, os autores mencionam o uso de senhas e configuração padrão

dos dispositivos CPS, facilitando a invasão de hackers, Aque obtém acesso aos dispositivos, permitindo o monitoramento dos proprietários, bem como o acesso às informações destes, como a localização, por exemplo (WALKER-ROBERTS *et al.*, 2020).

Além do risco à segurança gerada pelos dispositivos CPS, novas tendências, como o uso de AI e automação, geram novas ameaças à segurança dos CPS, como por meio de erros de codificação. Nesse contexto, com a ascensão da Indústria 4.0, Walker-Roberts *et al.* (2020) mencionam que o *phishing* de máquinas, ou seja, coleta de dados secretos, será fonte de grande preocupação para a manufatura inteligente, sendo necessário investir ainda mais em estratégias para aumentar a segurança cibernética.

Ainda no contexto da segurança e privacidade, é sabido que a tecnologia *blockchain* vem sendo amplamente abordada, entretanto, a implementação dessa tecnologia apresenta diversos desafios. De acordo com Majeed *et al.* (2021), dentre esses desafios da *blockchain* em *Smart Cities* estão aspectos como:

- **Sustentabilidade:** o uso massivo de dispositivos IoT gera alto consumo de energia. Aliado a isso, algoritmos de *blockchain* com alta complexidade computacional também acarretam alto consumo energético. Nesse contexto, soluções viáveis identificadas pelos autores são o uso de energia de fontes renováveis, a melhora na coleta de energia e implementação de um design eficiente e sustentável em termos de energia nas edificações;
- **Latência:** o tempo de processamento das transações afeta significativamente a escalabilidade das SC. Em SC habilitadas para o *blockchain*, esse atraso é devido à computação em nós de computação descentralizados. Assim, deve-se tratar o desafio de latência para melhorar a eficiência dos serviços inteligentes;
- **Identidade e privacidade:** em *blockchains* públicos as transações podem ser visualizadas por qualquer pessoa, e os dispositivos participantes podem ser identificados por meio de seu endereço público. Com isso, agentes mal-intencionados que tenham alguma informação podem explorar os vínculos entre o endereço público e a identidade do usuário. Esse mesmo problema é encontrado em aplicativos habilitados para criptomoeda. Como solução viável para

esse problema, os autores sugerem o uso de novo endereço para cada nova transação; uso de misturadores para aplicações em criptomoedas; uso da abordagem descentralizada *self-sovereign identity* (identidade autossobrerana) para o usuário obter o controle sobre sua identidade; gerenciamento de consentimento para compartilhamento de dados; dentre outras técnicas; e

- Memórias e armazenamento de computação de alto desempenho: espera-se um aumento de dispositivos IoT nas SC, mas, para isso, deve-se lidar com o desafio de altos requisitos de armazenamento, que limita a escalabilidade da rede *blockchain*. A escalabilidade é um requisito essencial das SC, e para isso, é essencial o uso de memórias computacionais de alto desempenho, com maior capacidade de armazenamento e menor consumo energético.

Oztemel e Gursev (2020) discutem que dentre os principais desafios da I4.0, além da segurança e privacidade, estão: aumento de plágio e dificuldade para manter a propriedade intelectual; disseminação de conhecimento falso; restrição ao acesso ao conhecimento; demanda por serviços em tempo integral, dentre outros.

Fuller *et al.* (2020) mencionam desafios da adoção da tecnologia *digital twin*, adotada em paralelo com AI e IoT, sendo eles: infraestrutura de TI conectada; dados de qualidade, sem ruídos e com fluxo constante; privacidade e segurança; validação do modelo para garantir a confiança do usuário e; a padronização da modelagem.

Moustafa *et al.* (2018), McKee *et al.* (2018), Mahmud, Ramamohanarao e Buyya (2020) e Abbas *et al.* (2021) mencionam o desafio de gerenciar dados, abrangendo a coleta, armazenagem, processamento e análise de dados, devido ao volume e às características dos dados, como heterogeneidade, com dados vindos de diversos dispositivos distintos. Com

McKee *et al.* (2018) discutem que dentre as dificuldades geradas pelo volume de dados está a armazenagem contínua dos dados, sendo necessário filtrá-los, entretanto, devido à quantidade, a rede física ficaria sobrecarregada, sendo necessário haver avanços no processamento de fluxo para coletar informações relevantes, descartando as demais. Além disso, os autores mencionam que a heterogeneidade também acarreta desafios, sendo necessário desenvolver técnicas de detecção automática de características, permitindo reduzir a dimensionalidade de forma inteligente, retendo somente informações relevantes. Caporuscio *et al.* (2020)

abordam o desafio gerado pelo compartilhamento de dados entre dispositivos, gerando problemas de segurança e privacidade, mas também falhas no sistema, como falhas de hardware, bugs de software ou problemas de interoperabilidade.

Nesse contexto da gestão de dados, Mahmud, Ramamohanarao e Buyya (2020) abordam a tecnologia *cloud computing*, que apresenta dificuldade em tratar dados em volume e em tempo real visto que nesse tipo de configuração os centros de dados encontram-se a uma distância dos dispositivos IoT, aumentando o tempo de processamento.

Mahmud, Ramamohanarao e Buyya (2020) explanam os desafios das estratégias de gerenciamento de aplicações em ambientes *fog*, sendo:

- Limitação de recursos e energia, a distribuição e a heterogeneidade dos nós *fog*;
- Os nós são sujeitos a anomalias e falhas, como falhas de energia e falta de capacidade, obstruindo a execução da aplicação;
- Integração de serviços e/ou dispositivos sem padronização, como já mencionado por Kiel, Müller e Arnold (2017);
- Falta de interoperabilidade, resultantes, por exemplo, pelas diferenças estruturais entre os ambientes *fog* e *cloud*;
- Distribuição ineficiente de tarefas, devido à coexistência de inúmeros tomadores de decisão; e
- Segurança, visto que os resultados das aplicações executadas no *fog* podem ser solicitadas por diferentes usuários.

Alsamhi *et al.* (2021) mencionam a grande quantidade de energia que os dispositivos IoT consomem, representando um desafio frente à necessidade crescente de reduzir os impactos ambientais ocasionados pelas tecnologias. Nesse sentido, Shan *et al.* (2018) apontam como desafio o massivo uso de sensores sem fio nas soluções das SC, consumindo grandes quantidades de energia.

Nikitas *et al.* (2020) abordam alguns desafios relacionados à mobilidade inteligente, e em particular ao uso dos CAVs. De acordo com os autores, a tecnologia pode gerar aumento de vulnerabilidade a hackers e falhas de software e hardware; problemas de privacidade; desafio de mudança de responsabilidades; veículos desocupados; acidentes de trânsito; congestionamentos e emissões.

Por fim, Aghimien *et al.* (2020) apresentou uma abordagem diferente dos demais artigos do portfólio, abordando o desafio de se desenvolver uma SC, resultando em seis dimensões dos desafios, sendo a governança, questões econômicas, sociais, tecnológicas, ambientais e jurídicas.

4.2.4.2 Oportunidades do relacionamento entre Smart Cities e Indústria 4.0

Na sequência foram identificadas as oportunidades e os benefícios gerados pelo setor 4.0, com suas tecnologias, no âmbito das *Smart Cities*. Oztemel e Gursev (2020) mencionam como oportunidade da I4.0 um novo perfil de trabalho e novas profissões, como cientista de dados e engenheiro do conhecimento, bem como novos modelos de negócio, conforme mencionado por Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021), corroborando Kiel, Müller e Arnold (2017).

Visando tratar o principal desafio de vulnerabilidade enfrentado pelas *Smart Cities* e Indústria 4.0, de segurança e privacidade dos dados, Sittón-Candanedo *et al.* (2019), Guan *et al.* (2021), Ullah e Al-Turjman (2021) e Aggarwal, Kumar e Tanwar (2021) mencionam a capacidade da tecnologia *blockchain* em promover maior segurança e privacidade dos dados e sistemas, tornando os serviços tradicionais em inteligentes. Abbas *et al.* (2021) mencionam que as principais oportunidades geradas pelo uso da *blockchain* são:

- Descentralização: os sistemas distribuídos são tolerantes a falha, nesse caso, os nós da rede *blockchain* não afetam todo o sistema em caso de falha de um nó;
- Redução de custos indiretos: mantendo um livro-razão por meio de uma rede de nós distribuídos, é possível manter um baixo custo de hospedagem;
- Imutabilidade: o *blockchain* armazena informações que não podem ser alteradas;
- Transparência: não há como ocultar informações sobre as transações, tornando-a uma tecnologia de alta transparência; e
- Segurança: o *blockchain* apresenta um ambiente seguro ao adotar tecnologia criptográfica avançada e rede descentralizada.

Já em relação às oportunidades geradas pela aplicação tecnológica do setor 4.0, Oztemel e Gursev (2020), corroborando Kiel, Müller e Arnold (2017) e Da Silva *et al.* (2019), mencionam maior capacidade de inovação, gerando competitividade; melhoria em monitoramento e diagnóstico; maior produtividade, que gera também benefícios ambientais; processos produtivos mais eficientes; novos modelos de negócio; tomada de decisão imparcial, em tempo real e baseada em dados; aumento da qualidade de vida; produtos personalizados; cidades, edifícios e fábricas inteligentes, dentre outros.

Outras oportunidades foram identificadas da aplicação tecnológica no contexto do transporte e mobilidade inteligente. Alsamhi *et al.* (2021) mencionam como oportunidade da tecnologia UAVs a capacidade de ecologização da IoT, gerando uma indústria 4.0 mais sustentável, fiável e ecológica. Já Nikitas *et al.* (2020) abordaram como benefício do uso dos CAVs para promover uma mobilidade mais inteligente para as SC, como criar mais tempo livre para o condutor; melhorar segurança das rodovias e prevenção de acidentes; maior acessibilidade; redução de congestionamento do tráfego rodoviário; redução da degradação ambiental, da poluição ambiental e sonora; e a redução da exclusão social para quem não consegue conduzir. Além dos CAVs, os autores também abordam benefícios para a solução MaaS, como redução de congestionamentos; redução da poluição atmosférica e sonora; melhoria da eficiência energética; aumento da segurança nas vias; promoção de saúde, bem-estar e coesão social.

Outras oportunidades mapeadas geradas por tecnologias do setor 4.0 nas SC são a de gerar riqueza e criar empregos bem remunerados, mencionado por Islam *et al.* (2020), ao abordarem uma infraestrutura robusta de sensores (TSS) baseada em IoT, e a capacidade de redução de tempo de entrega dos serviços e a baixa latência gerada pela tecnologia *fog computing*, abordada por Mahmud, Ramamohanarao e Buyya (2020) e Sittón-Candanedo *et al.*, (2019), que influencia positivamente nos diversos setores das SC.

O setor da saúde dentro das SC também é beneficiado, uma vez que Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021) evidenciam que tecnologias da I4.0 são impulsionadores no gerenciamento e eliminação de resíduos de saúde, gerando um sistema mais inteligente e eficiente. Dentro do mesmo âmbito, Fuller *et al.* (2020) mencionam a tecnologia *digital twin* combinada com AI trazendo benefícios no entendimento dos possíveis efeitos que mudanças no estilo de vida podem acarretar

sobre a saúde de uma pessoa. Os autores ainda citam melhorias na medicina utilizando DT, como o aumento da precisão em operações cirúrgicas e a criação de uma estrutura que ajuda no monitoramento, diagnóstico e prevenção da saúde de um paciente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As últimas décadas marcaram as indústrias e as cidades. Ambas passaram por grandes transformações nos seus conceitos e objetivos, principalmente pelo avanço tecnológico e pelas inovações que ocorreram e continuam em constante crescimento. O setor industrial passou por quatro revoluções, até atingir a chamada Indústria 4.0, que se baseia majoritariamente na aplicação tecnológica nos processos produtivos. Conforme Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021), a I4.0 é a abordagem das aplicações tecnológicas inteligentes que permitem desenvolver as fábricas inteligentes, integrando mundo digital e físico por meio de sistemas ciberfísicos, gerando novos negócios e estimulando desenvolvimentos e avanços nas *Smart Cities*.

Já as cidades, por sua vez, passaram de pequenos assentamentos para grandes centros urbanos, e neste contexto evolutivo, surgiram as *Smart Cities*, que focam no desenvolvimento tecnológico e sustentável dos serviços e infraestruturas, com o intuito de promover, dentre outros, qualidade de vida aos cidadãos. Conforme Anttila e Jussila (2018), essas cidades focam na integração dos ambientes físico, digital e humano a fim de gerar soluções, serviços e infraestruturas mais inteligentes, sustentáveis, prósperas e inclusivas aos habitantes, abrangendo diferentes dimensões e promovendo satisfação das necessidades dos cidadãos. Para isso, baseiam-se em aplicação tecnológica, como IoT, Big Data, *blockchain*, AI, dentre outras, que impulsionam o seu desenvolvimento, bem como sua inteligência.

Assim, é sabido que a adoção tecnológica incentivada pelo setor 4.0 pode também beneficiar outras áreas, dentre elas as *Smart Cities*. Entretanto, não se tem claro o relacionamento, bem como os impactos da relação entre os dois conceitos. Assim, definiu-se como objetivo da presente pesquisa identificar a relação entre as duas temáticas, permitindo responder ao problema de pesquisa “De que forma os conceitos de Indústria 4.0 e *Smart Cities* se relacionam e quais os impactos dessa relação para a sociedade?”

Para que o objetivo fosse atingido, e o problema de pesquisa fosse respondido, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura, por meio da metodologia *Methodi Ordinatio*, de Pagani, Kovaleski e Resende (2015), atualizada por Pagani et al. (2022), resultando na construção de um portfólio com relevância científica, o qual, juntamente com o referencial teórico, foram fonte para a coleta e análise de conteúdo.

Assim, os resultados obtidos, bem como os objetivos atingidos foram, conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Resultados que respondem aos objetivos do presente trabalho

Objetivo	Resultados
OE1	A partir da análise do portfólio, verificou-se que grande parte dos estudos são de caráter teórico, revisando o estado da arte de tecnologias, como IoT, blockchain, sensores e digital twin; dimensões, sendo a mais recorrente a mobilidade e transporte; desafios, principalmente relacionado à segurança e privacidade; métodos e conceitos relacionados à Indústria 4.0 e/ou Smart Cities, seguido de estudos práticos e teórico-práticos, que tiveram como principal foco abordar tecnologias para promover segurança.
OE2	Diante da análise das tecnologias abordadas no contexto da Indústria 4.0, verificou-se que as mais recorrentes foram Internet of Things; sensores; Cloud, Fog e Edge Computing; Blockchain; Cyber-Physical Systems; Virtual Manufacturing; soluções inteligentes para mobilidade, como os UAVs; Big Data; Artificial Intelligence; Deep Learning e BIM. Como debatido por diversos autores, somente a aplicação tecnológica não permite transformar a indústria, tendo que considerar outros aspectos como requisito, como a qualificação dos trabalhadores, a segurança cibernética e o desenvolvimento sustentável.
OE3	Verifica-se que o conceito de Smart Cities se baseia principalmente na aplicação tecnológica, e assim como abordado nos estudos da I4.0, muitos autores criticam essa visão tecnocêntrica, justificando que somente a aplicação tecnológica não promove inteligência, as tecnologias devem ser orientadas para solucionar problemas dos cidadãos e das cidades. Em relação as dimensões das SC, a mais abrangente foi proposta por Anttila e Jussila (2018), sendo: cidadãos inteligentes, governança inteligente, educação inteligente, segurança inteligente, saúde inteligente, moradias inteligentes, infraestrutura inteligente, transporte inteligente, mobilidade inteligente, energia inteligente e tecnologias inteligentes. Verificou-se também que o domínio mais explorado foi do transporte/mobilidade inteligente.
OE4 e Objetivo Geral	A integração da Indústria 4.0 e das SC pode gerar inúmeros benefícios, incluindo uma melhor gestão dos recursos, redução do desperdício, maior eficiência energética, e melhores serviços essenciais. Por meio da aplicação tecnológica promovida pela I4.0, as SC podem realizar análises avançadas para prever a procura de transportes públicos e otimizar rotas, reduzir congestionamento e melhorar a segurança das vias, reduzindo o impacto energético e, assim, promovendo estruturas mais inteligentes. Nesse contexto, a tecnologia mais abordada entre os autores do portfólio foi a IoT, que pode ser adotada no contexto das SC com inúmeras afinidades além do transporte inteligente, como para monitorar e gerenciar as infraestruturas, como casas, gerenciamento de energia, monitorando o uso de energia em edifícios e em toda a cidade, por exemplo, para a gestão de resíduos, monitorando os níveis de resíduos em lixeiras, promovendo a segurança pública, monitorando os espaços públicos e detectando riscos à segurança, dentre outros. No contexto da I4.0, essa tecnologia permite automatizar processos, monitorar equipamentos e auxiliar na gestão da manutenção, rastrear ativos da organização, detectar defeitos nos processos produtivos, dentre outros. Assim, verifica-se que existe uma forte integração entre os conceitos, evidenciado pela adoção de tecnologias que geram benefícios para ambos os contextos.

Fonte: A autoria própria (2023)

Assim, as tecnologias da Indústria 4.0, como *blockchain*, IoT, UAVs, CAVs, MaaS, DT e AI, têm o potencial de melhorar a eficiência, segurança, sustentabilidade, qualidade de vida e inovação nas *Smart Cities*, ao mesmo tempo em que geram

oportunidades econômicas e empregos bem remunerados. Embora inúmeros benefícios e oportunidades surjam desse relacionamento, existem também diversos desafios que devem ser tratados, sendo, principalmente a segurança e privacidade dos dados, o gerenciamento dos dados, o consumo de energia e os impactos para a sustentabilidade.

O presente trabalho apresenta como limitação o uso de artigos e revisões para a Revisão Sistemática de Literatura, eliminando livros, capítulos de livros e artigos de conferência, visto que a metodologia gera uma ordenação adotando o Fator de Impacto, métrica disponibilizada para avaliar artigos publicados em revistas. Além disso, outra limitação do trabalho é referente a disponibilidade de tempo, sendo necessário a inserção de um corte no portfólio, selecionando somente os 30 mais relevantes. Sugere-se como trabalho futuro a proposição de métricas de forma a mensurar quantitativamente os impactos e benefícios da aplicação de tecnologias do setor 4.0 para as cidades e cidadãos.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, K. et al. Convergence of Blockchain and IoT for Secure Transportation Systems in Smart Cities. **Security and Communication Networks**, v. 2021, 2021.
- ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3467-3501, 2019.
- AGGARWAL, S.; KUMAR, N.; TANWAR, S. Blockchain-envisioned UAV communication using 6G networks: Open issues, use cases, and future directions. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 7, p. 5416–5441, 2021.
- AGHIMIEN, D. O. *et al.* A fuzzy synthetic evaluation of the challenges of smart city development in developing countries. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 11, n. 3, p. 405-421, 2022.
- AHVENNIEMI, H. *et al.* What are the differences between sustainable and smart cities? **Cities**, v. 60, n. A, p. 234-245, 2017.
- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, n. 1, p. 3-21, 2015.
- ALSAMHI, S. H. *et al.* Green Internet of Things using UAVs in B5G networks: A review of applications and strategies. **Ad Hoc Networks**, v. 117, 2021.
- AN, J. *et al.* Reliable mechatronic indicator for self-powered liquid sensing toward smart manufacture and safe transportation. **Materials Today**, v. 41, p. 10-20, 2020.
- ANTHOPOULOS, L. G.; REDDICK, C. G. Understanding electronic government research and smart city: A framework and empirical evidence. **Information Polity**, v. 21, n. 1, p. 99-117, 2016.
- ANTTILA, J.; JUSSILA, K. Universities and smart cities: the challenges to high quality. **Total Quality Management and Business Excellence**, v. 29, n. 9-10, p. 1058-1073, 2018.
- ANTTIROIKO, A.-V.; VALKAMA, P.; BAILEY, S. J. Smart cities in the new service economy: building platforms for smart services. **AI & Society**, v. 29, p. 323-334, 2014.
- AZUMA, R. T. A Survey of Augmented Reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997.
- BACCARELLI, E. *et al.* Fog of Everything: Energy-Efficient Networked Computing Architectures, Research Challenges, and a Case Study. **IEEE Access**, v. 5, p. 9882-9910, 2017.
- BAHRIN, M. A. K. *et al.* Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, p. 6-13, 2016.

BAYULKEN, B.; HUISINGH, D. A literature review of historical trends and emerging theoretical approaches for developing sustainable cities (part 1). **Journal of Cleaner Production**, v. 109, p. 11-24, 2015.

BFWUE (Bundesministerium Für Wirtschaft und Energie). What is Industrie 4.0?, 2018. Disponível em: <<https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>>. Acesso em: 22 jun. 2021.

BIG DATA. In: **Gartner Glossary**. Stamford: Gartner Inc., 2021. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

CAPDEVILA, I.; ZARLENGA, M. I. Smart city or smart citizens? The Barcelona case. **Journal of Strategy and Management**, v. 8, n. 3, p. 266-282, 2015.

CAPORUSCIO, M. *et al.* Smart-troubleshooting connected devices: Concept, challenges and opportunities. **Future Generation Computer Systems**, v. 111, p. 681-697, 2020.

CARAGLIU, A.; DEL BO, C.; NIJKAMP, P. Smart Cities in Europe. **Journal of Urban Technology**, v. 18, n. 2, p. 65-82, 2011.

CHAUHAN, A.; JAKHAR, S. K.; CHAUHAN, C. The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 2021.

CNI (Confederação Nacional da Indústria). **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d6/cb/d6cbfbba-4d7e-43a0-9784-86365061a366/desafios_para_industria_40_no_brasil.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.

COHEN, B.; MUÑOZ, P. Sharing cities and sustainable consumption and production: towards an integrated framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, n. A, p. 87-97, 2016.

CORSI, A. *et al.* Smart Sustainable Cities: Characterization and Impacts for Sustainable Development Goals. **Revista De Gestão Ambiental E Sustentabilidade**, v. 11, n. 1, e20750, 2022.

DA SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

DA SILVA, V. L. *et al.* Implementation of Industry 4.0 concept in companies: empirical evidences. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 33, n. 4, p. 325-342, 2019.

DE ALMEIDA, P. S. **Indústria 4.0: Princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial**. São Paulo: Érica, 2019.

DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, 2014.

ERBOZ, G. How to Define Industry 4.0: The Main Pillars Of Industry 4.0. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON MANAGEMENT (ICOM), 7., 2017, Nitra. **Managerial Trends in the Development of Enterprises in Globalization Era**. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra. 2017. p. 761-767.

FERREIRA, A. A.; REIS, A. C. F.; PEREIRA, M. I. **Gestão empresarial: de Taylor aos nossos dias: evolução e tendências da moderna administração de empresas**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 1997.

FIRDAUS, G. Urbanization, emerging slums and increasing health problems: a challenge before the nation: an empirical study with reference to state of uttar pradesh in India. **E3 Journal of Environmental Research and Management**, v. 3, n. 9, p. 146-152, 2012.

FULLER, A. *et al.* Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. **IEEE Access**, v. 8, p. 108952–108971, 2020.

GIFFINGER, R. *et al.* **Smart cities: Ranking of European medium-sized cities**. Vienna: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology, 2007. Disponível em: <http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GLASMEIER, A.; CHRISTOPHERSON, S. Thinking about smart cities. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 8, p. 3-12, 2015.

GOODSPEED, R. Smart cities: moving beyond urban cybernetics to tackle wicked problems. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 8, n. 1, p. 79-92, 2014.

GUAN, Z. *et al.* Achieving efficient and Privacy-preserving energy trading based on blockchain and ABE in smart grid. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, v. 147, p. 34–45, 2021.

HOLLANDS, R. G. Will the real smart city please stand up? **City**, v. 12, n. 3, p. 303-320, 2008.

HU, H. *et al.* Toward Scalable Systems for Big Data Analytics: A Technology Tutorial. **IEEE Access**, v. 2, p. 652-687, 2014.

ICHIMURA, M. Urbanization, Urban Environment and Land Use: Challenges and Opportunities. ASIA-PACIFIC FORUM ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (APFED), 3., 2003, Guilin. **Anais...** Guilin: UN Economic and Social Committee for Asia-Pacific (ESCAP). 2003.

ISLAM, N. *et al.* Here there be dragons, a pre-roadmap construct for IoT service infrastructure. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 155, 2020.

ITU-T (Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union). **Recommendation ITU-T Y.2060: overview of the Internet of things**. Geneva: ITU-T, 2012.

JAVED, A. R. *et al.* Future Smart Cities: Requirements, Emerging Technologies, Applications, Challenges, and Future Aspects. **TechRxiv** [Preprint], 2021.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: acatech - National Academy of Science and Engineering, 2013. Disponível em: <<https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group>>. Acesso em: 01 jul. 2021.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, n. 6, p. 239-242, 2014.

LEE, J. H.; HANCOCK, M. G.; HU, M.-C. Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from Seoul and San Francisco. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 89, p. 80-99, 2014.

LI, X. *et al.* Towards sustainable smart cities: An empirical comparative assessment and development pattern optimization in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 730-743, 2019.

LIN, Y.-C.; CHEUNG, W.-F. Developing WSN/BIM-Based Environmental Monitoring Management System for Parking Garages in Smart Cities. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 3, 2020.

LOMBARDI, M.; PASCALE, F.; SANTANIELLO, D. Internet of Things: A General Overview between Architectures, Protocols and Applications. **Information**, v. 12, n. 2, 2021.

MACDOUGALL, W. **Industrie 4.0**: Smart manufacturing for the future, 2014. Disponível em: <https://www.academia.edu/21125581/SMART_MANUFACTURING_FOR_THE_FUTURE_INDUSTRIE_4_0_Future_Markets>. Acesso em: 02 jul. 2021. Germany Trade & Invest (GTAI).

MACHADO JUNIOR, C.; MANTOVANI, D. Do Brazilian cities want to become smart or sustainable? **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 214-221, 2018.

MAHMUD, R.; RAMAMOHANARAO, K.; BUYYA, R. Application Management in Fog Computing Environments: A Taxonomy, Review and Future Directions. **ACM Computing Surveys**, v. 53, n. 4, p. 1-43, 2020.

MAJEED, U. *et al.* Blockchain for IoT-based smart cities: Recent advances, requirements, and future challenges. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 181, 2021.

MARRONE, M.; HAMMERLE, M. Smart Cities: A Review and Analysis of Stakeholders' Literature. **Business & Information Systems Engineering**, v. 60, n. 3, p. 197-213, 2018.

MATT, D. T. *et al.* Urban production – A socially sustainable factory concept to overcome shortcomings of qualified workers in smart SMEs. **Computers and Industrial Engineering**, v. 139, 2020.

MCKEE, D. W. *et al.* Survey of advances and challenges in intelligent autonomy for distributed cyber-physical systems. **CAAI Transactions on Intelligence Technology**, v. 3, n. 2, p. 75-82, 2018.

MOUSTAFA, N. *et al.* A New Threat Intelligence Scheme for Safeguarding Industry 4.0 Systems. **IEEE Access**, v. 6, p. 33910–33924, 2018.

MUSTERD, S.; OSTENDORF, W. Creative Cultural Knowledge Cities: Perspectives and Planning Strategies. **Built Environment**, v. 30, n. 3, p. 189-193, 2004.

NIKITAS, A. *et al.* Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era. **Sustainability**, v. 12, p. 2789-2807, 2020.

ODENDAAL, N. Information and communication technology and local governance: understanding the difference between cities in developed and emerging economies. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 6, p. 585-607, 2003.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, p. 127-182, 2020.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

QUINTINO, L. F. *et al.* **Indústria 4.0**. Porto Alegre: SAGAH, 2019. E-book.

RIMAL, B. P. *et al.* Architectural Requirements for Cloud Computing Systems: An Enterprise Cloud Approach. **Journal of Grid Computing**, v. 9, p. 3-26, 2011.

ROMERO, M. *et al.* Towards a Characterisation of Smart Systems: A Systematic Literature Review. **Computers in Industry**, v. 120, 2020.

RÜßMANN, M. *et al.* **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**, 2015. Disponível em: <https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries>. Acesso em: 30 jun. 2021. Boston Consulting Group.

SACOMANO, J. B. *et al.* **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018.

SANCHEZ, P. M. S. *et al.* A Survey on Device Behavior Fingerprinting: Data Sources, Techniques, Application Scenarios, and Datasets. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 23, n. 2, p. 1048-1077, 2021.

SCHEIDEGGER, A. P. G. *et al.* An introductory guide for hybrid simulation modelers on the primary simulation methods in industrial engineering identified through a systematic review of the literature. **Computers & Industrial Engineering**, v. 124, p. 474-492, 2018.

SEPASGOZAR, S. M. E. Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment. **Buildings**, v. 11, n. 4, p. 151-166, 2021.

SITTÓN-CANDANEDO, I. *et al.* A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal. **Future Generation Computer Systems**, v. 99, p. 278-294, 2019.

SMIT, J. *et al.* **Industry 4.0**: Study for the ITRE Committee. Brussels: European Parliament, Directorate-General for Internal Policies, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, 2016. Disponível em: <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SHAN, F. *et al.* Throughput Maximization for the Wireless Powered Communication in Green Cities. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, n. 6, p. 2560-2569, 2018.

ULLAH, F.; AL-TURJMAN, F. A conceptual framework for blockchain smart contract adoption to manage real estate deals in smart cities. **Neural Computing & Applications**, v. 35, p. 5033-5054, 2023.

UN (United Nations). **Transforming our World**: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations: General Assembly, 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>>. Acesso em: 15 jul 2023.

UN (United Nations). **World Urbanization Prospects**: The 2018 Revision. New York: United Nations: Department of Economic and Social Affairs: Population Division, 2019. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

WALKER-ROBERTS, S. *et al.* Threats on the horizon: understanding security threats in the era of cyber-physical systems. **Journal of Supercomputing**, v. 76, n. 4, p. 2643-2664, 2020.

WANG, S. *et al.* Human Short Long-Term Cognitive Memory Mechanism for Visual Monitoring in IoT-Assisted Smart Cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 10, p. 7128-7139, 2022.

YIGITCANLAR, T. Smart cities: an effective urban development and management model? **Australian Planner**, v. 52, n. 1, p. 27-34, 2015.

YIGITCANLAR, T. **Technology and the city**: Systems, applications and implications. New York: Routledge, 2016.

YÜLEK, M. A. The Industrialization Process: A Streamlined Version. In: _____ **How Nations Succeed**: Manufacturing, Trade, Industrial Policy, and Economic Development. Singapura: Palgrave MacMillan, 2018. Cap. 8, p. 171-182.

ZHENG, C. *et al.* From digital to sustainable: A scientometric review of smart city literature between 1990 and 2019. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, 120689, 2020.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. **2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)**, p. 2147-2152, 2015.

APÊNDICE A - Portfólio de artigos ordenados

Tabela 5 - Portfólio final de artigos ordenados pelo InOrdinatio2.0

(continua)

Título	Ano	Ci	IF	InOrdinatio2.0
Literature review of Industry 4.0 and related technologies	2020	1200	13,3	4130,37
Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research	2020	638	6,7	2191,04
A Survey on Device Behavior Fingerprinting: Data Sources, Techniques, Application Scenarios, and Datasets	2021	47	69,4	927,68
A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal	2019	192	18,7	663,05
Blockchain for IoT-based smart cities: Recent advances, requirements, and future challenges	2021	97	15,7	640,68
Application Management in Fog Computing Environments: A Taxonomy, Review and Future Directions	2020	105	28,0	627,37
Fog of Everything: Energy-Efficient Networked Computing Architectures, Research Challenges, and a Case Study	2017	327	6,7	605,42
The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal	2021	83	15,8	571,68
Artificial intelligence, transport and the smart city: Definitions and dimensions of a new mobility era	2020	134	5,0	494,04
Blockchain-envisioned UAV communication using 6G networks: Open issues, use cases, and future directions	2021	64	17,1	489,68
Green internet of things using UAVs in B5G networks: A review of applications and strategies	2021	67	9,5	428,68
Urban production - A socially sustainable factory concept to overcome shortcomings of qualified workers in smart SMEs	2020	92	9,7	401,04
Towards a Characterisation of Smart Systems: A Systematic Literature Review	2020	70	16,9	399,70
Human Short-Long Term Cognitive Memory Mechanism for Visual Monitoring in IoT-Assisted Smart Cities	2021	46	17,1	399,68
Reliable mechatronic indicator for self-powered liquid sensing toward smart manufacture and safe transportation	2020	21	33,0	397,37
Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment	2021	66	3,8	366,68
Internet of things: A general overview between architectures, protocols and applications	2021	65	4,2	365,68
Achieving efficient and Privacy-preserving energy trading based on blockchain and ABE in smart grid	2021	48	9,2	330,68
Circular Economy Strategies in Eight Historic Port Cities: Criteria and Indicators Towards a Circular City Assessment Framework	2019	113	5,0	328,55
A conceptual framework for blockchain smart contract adoption to manage real estate deals in smart cities	2021	46	8,7	315,68

Tabela 5 - Portfólio de artigos ordenados pelo InOrdinatio**(conclusão)**

Título	Ano	Ci	IF	InOrdinatio2.0
Here there be dragons, a pre-roadmap construct for IoT service infrastructure	2020	53	13,7	311,04
Developing WSN/BIM-Based Environmental Monitoring Management System for Parking Garages in Smart Cities	2020	55	9,1	271,70
A New Threat Intelligence Scheme for Safeguarding Industry 4.0 Systems	2018	104	6,7	269,74
Smart-troubleshooting connected devices: Concept, challenges and opportunities	2020	19	18,7	247,70
Threats on the horizon: understanding security threats in the era of cyber-physical systems	2020	56	4,8	232,04
Throughput Maximization for the Wireless Powered Communication in Green Cities	2018	12	21,3	231,74
Convergence of Blockchain and IoT for Secure Transportation Systems in Smart Cities	2021	33	3,3	196,68
A fuzzy synthetic evaluation of the challenges of smart city development in developing countries	2020	46	3,7	187,70
Survey of advances and challenges in intelligent autonomy for distributed cyber-physical systems	2018	44	10,0	82,74
Universities and smart cities: the challenges to high quality	2018	49	7,2	164,74

Fonte: Autoria própria (2023)