

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO – PPGA
CURSO DE DOUTORADO**

MAYRON DALLA SANTA DE CARVALHO

***SMART CITIES: USO DE SENSORES E DADOS SECUNDÁRIOS PARA CIDADES
INTELIGENTES CENTRADAS NO CIDADÃO***

**CAXIAS DO SUL
2024**

MAYRON DALLA SANTA DE CARVALHO

SMART CITIES: USO DE SENSORES E DADOS SECUNDÁRIOS PARA CIDADES INTELIGENTES CENTRADAS NO CIDADÃO

Tese de Doutorado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade de Caxias do Sul como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Doutor em Administração.

Orientadora: Prof.^a. Dra. Ana Cristina Fachinelli Bertolini

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Luís Notari

**CAXIAS DO SUL
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

C331s Carvalho, Mayron Dalla Santa de
Smart cities [recurso eletrônico] : uso de sensores e dados secundários
para cidades inteligentes centradas no cidadão / Mayron Dalla Santa de
Carvalho. – 2024.

Dados eletrônicos.

Tese (Doutorado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-
Graduação em Administração, 2024.

Orientação: Ana Cristina Fachinelli Bertolini.

Coorientação: Daniel Luís Notari.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Cidades inteligentes. 3. Gestão
ambiental. I. Bertolini, Ana Cristina Fachinelli, orient. II. Notari, Daniel Luís,
coorient. III. Título.

CDU 2. ed.: 502.131.1

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Carolina Machado Quadros - CRB 10/2236

MAYRON DALLA SANTA DE CARVALHO

SMART CITIES: USO DE SENSORES E DADOS SECUNDÁRIOS PARA CIDADES INTELIGENTES CENTRADAS NO CIDADÃO

Tese de Doutorado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade de Caxias do Sul como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Doutor em Administração.

Aprovado em: 07/11/2024.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ana Cristina Fachinelli Bertolini
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Daniel Luís Notari
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof.^a Dra. Cíntia Paese Giacomello
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Fábio Verruck
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof.^a Dra. Jamile Sabatini Marques
Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo – IEA/USP

Prof.^a. Dra. Tatiana Tucunduva Phillipi Cortese
Universidade Nove de Julho - UNINOVE

Dedico esta entrega à minha família, aos amigos de fé e, especialmente, ao meu filho Matteo.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram para esta importante etapa da minha jornada, e sou genuinamente grato a todos que de alguma forma participaram para que essa conquista se concretizasse. Durante a construção da tese, minha esposa Camila e eu celebramos o nascimento do Matteo, que me ensina e motiva a ser melhor a cada dia; a eles, minha eterna gratidão.

Retribuo todo o empenho dos meus pais, Renan e Marise, e da minha irmã Renata, em forma de profundo agradecimento. Eles são incansáveis em oferecer amor, sabedoria, motivação e apoio incondicional. Agradeço imensamente à Universidade de Caxias do Sul e ao CNPq, por viabilizarem as condições necessárias para a realização deste trabalho. Estendo o agradecimento ao André Quadros pela parceria da Apoio Intermediação em Negócios e pela amizade reforçada ao longo deste processo colaborativo.

Minha sincera e profunda gratidão à minha orientadora, a professora Dra. Ana Cristina Fachinelli Bertolini, e ao meu coorientador, professor Dr. Daniel Notari, pela confiança, orientação e pelo apoio constante na vida e em todas as etapas deste trabalho. Agradeço ainda aos professores convidados da banca, pelas contribuições e questionamentos que orientam o meu crescimento.

Às minhas sócias Luciana e Sabrina, um agradecimento especial, pois tiveram um papel fundamental nessa jornada. Aos colegas de trabalho, alunos e clientes, obrigado pela colaboração e pela confiança nesta jornada. Sou grato ao professor Dr. Pelayo Munhoz Olea por estimular meu ingresso na jornada acadêmica, bem como aos colegas do seu grupo de pesquisa. Também agradeço ao professor Dr. Sandro Santos pelos aconselhamentos.

Externo meu sincero agradecimento ao amigo Tiago e a Thaís por inspirarem a minha evolução, e a todos meus amigos de fé (vocês sabem quem são) e aos tios e primos que inspiram, compartilharam conhecimento e boas energias. Sou grato também aos amigos, pesquisadores e profissionais que contribuíram diretamente para o desenvolvimento do produto desta tese: Diogo Rosanelli, Prof. M. Samuel Ferrigo e Dr. Marcelo Benetti, cuja expertise e disponibilidade foram essenciais.

A todos os professores, funcionários e colegas do PPGA-UCS, do City Living Lab e ao time do UCSiNOVA, muito obrigado pelas trocas e pelo ambiente colaborativo que vivenciamos juntos.

RESUMO

O futuro das cidades é uma preocupação crescente, especialmente diante da estimativa de que, até 2050, 66% da população mundial viverá em áreas urbanas, agravando as externalidades do antropoceno. As cidades já enfrentam os efeitos adversos do aquecimento global no contexto ambiental e em áreas relacionadas à saúde, energia, mobilidade, economia e segurança, entre outros. Nesse contexto, a norma global ISO 37122:2019 – Cidades Inteligentes e Sustentáveis – fornece indicadores e métricas para que as cidades alcancem o status de *smart cities*. Esta tese assumiu a tecnologia como um componente habilitador essencial para o desenvolvimento de soluções que capacitem a sociedade com informações qualificadas, promovam o desenvolvimento socioeconômico e ambiental, estimulem a inovação e subsidiem ações para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. O objetivo desta tese foi desenvolver e avaliar um protótipo funcional de um dispositivo IoT (*Internet of Things*) dinâmico de coleta de dados ambientais georreferenciados em tempo real e uma plataforma digital de integração de dados ambientais e bases de dados secundárias para a compreensão de dinâmicas urbanas em Caxias do Sul-RS, visando subsidiar a formulação de políticas de *smart cities* centradas no cidadão. Diferente de uma orientação predominantemente tecnológica, o conceito de *smart cities* centradas no cidadão coloca o elemento humano como protagonista, conferindo sentido às iniciativas tecnológicas. Para atingir esse objetivo, desenvolveu-se dois artefatos: um dispositivo destinado a coletar dados sobre luminosidade, ruído, temperatura, umidade e qualidade do ar, por meio de sensores, e uma plataforma que integrou os dados advindos dos sensores com outras bases secundárias e com informações de satisfação do cidadão com a vida, que possibilitou enriquecer e fomentar o entendimento sobre o ambiente urbano em Caxias do Sul-RS, Brasil. O método de pesquisa adotado foi o DSR (*Design Science Research*), que seguiu um protocolo de ciclos iterativos desde a identificação do problema até a comunicação dos resultados. Como contribuições, os artefatos desenvolvidos evidenciam como a aplicação de tecnologias emergentes podem potencializar as análises técnicas e científicas para a formulação de políticas de *smart cities* centradas no cidadão. A formulação da tese contribuiu também para o avanço do conceito de cidades inteligentes centradas no cidadão e para as reflexões teóricas do uso da tecnologia enquanto meio no processo de desenvolvimento urbano.

Palavras-chave: Cidades inteligentes; Centradas no cidadão; Inovação; Sensores; Internet das coisas; IoT; Dados; *Design Science Research*.

ABSTRACT

The future of cities is an increasing concern, especially considering the estimate that by 2050, 66% of the global population will live in urban areas, exacerbating the externalities of the Anthropocene. Cities are already facing the adverse effects of global warming in the environmental context and in areas related to health, energy, mobility, economy, and security, among others. In this context, the global standard ISO 37122:2019 – Smart and Sustainable Cities – provides indicators and metrics for cities to achieve the status of smart cities. This thesis adopts technology as an essential enabling component for the development of solutions that empower society with qualified information, promote socioeconomic and environmental development, stimulate innovation, and support actions aimed at improving the quality of life of citizens. The objective of this thesis was to develop and evaluate a functional prototype of a dynamic IoT (Internet of Things) device for real-time georeferenced environmental data collection and a digital platform for integrating environmental data and secondary databases to understand urban dynamics in Caxias do Sul, RS, aimed at supporting the formulation of citizen-centered smart cities policies. Unlike a technological orientation, the concept of citizen-centered smart cities places the human element as the protagonist, giving meaning to technological initiatives. To achieve this objective, two artifacts were developed: a IoT device intended to collect data on brightness, noise, temperature, humidity, and air quality through sensors, and a platform that integrated data from the sensors with other secondary databases and information regarding citizen satisfaction with life, which enabled the enrichment and fostering of understanding about the urban environment in Caxias do Sul, Brazil. The research method adopted was Design Science Research (DSR), which followed a protocol of iterative cycles from problem identification to the communication of results. The contributions of the developed artifacts demonstrate how the application of emerging technologies can enhance the technical and scientific analyses of the process of formulating citizen-centered smart city policies. The formulation of the thesis also contributed to the advancement of the concept of citizen-centered smart cities and to the theoretical reflections on the use of technology as a means in the urban development process.

Keywords: Smart cities; Citizen-centered; Innovation; Sensors; Internet of things; IoT; Data; Design science research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delimitação do projeto	26
Figura 2 – Comparativo terminológico temporal	32
Figura 3 – Exemplos de componentes habilitadores em camadas de pré-requisitos.....	41
Figura 4 – Tecnologias habilitadoras em <i>smart cities</i>	42
Figura 5 – Padrão de atributos correlacionados de temperatura e tráfego.....	46
Figura 6 – Oito degraus da escada da participação cidadã	49
Figura 7 – Modelo de processo cognitivo e processo de pesquisa científica em design (ciclo DSR)	55
Figura 8 – Modelo de pesquisa DSR aplicado	57
Figura 9 – Protocolo de pesquisa.....	58
Figura 10 - Protocolo DSR aplicado.....	62
Figura 11 – Contexto de desenvolvimento do Artefato 1 e Artefato 2.....	63
Figura 12 - Grau de consolidação por ciclo na construção do artefato e avanço conceitual ...	67
Figura 13 - Projeto de Design.....	72
Figura 14 - Componentes de alimentação de energia.....	72
Figura 15 - Suporte e fixação do dispositivo	73
Figura 16 - Protótipo do Artefato 1	74
Figura 17 - Camadas de segurança	74
Figura 18 - Telas de parametrização do Artefato 1	76
Figura 19 - Parametrização do intervalo de envio por protocolo	77
Figura 20 - Infraestrutura implementada	78
Figura 21 - Registro de inconformidade de funcionamento do Artefato 1.....	79
Figura 22 - Evidências de superaquecimento do dispositivo	79
Figura 23 - Evidência de congelamento dos sensores	80
Figura 24 - Empresa privada de fretamento de Caxias do Sul	80
Figura 25 - Instalação física dos dispositivos nos veículos	81
Figura 26 - Dados do banco em tempo real.....	82
Figura 27 - Dados com tratativa manual e representação individualizada	83
Figura 28 - Artefatos utilizados no projeto VARCITIES.....	86
Figura 29 - Métrica de estágios e impactos do COR na cidade do Rio de Janeiro.....	88
Figura 30 - Conteúdo compartilhado diariamente nas redes sociais do COR.....	88
Figura 31 - Sala principal do COR	89

Figura 32 - Plataforma GeoCaxias	90
Figura 33 - Biblioteca de dados do município de Caxias do Sul.....	91
Figura 34 - Plataforma mundial Windy	92
Figura 35 - Base de dados de Segurança Pública de Caxias do Sul	93
Figura 36 - Base de dados ambientais coletados pelo dispositivo IoT entregue no artefato 1.	97
Figura 37 - Composição das bases de dados do artefato 2	99
Figura 38 - Plataforma em ArcGIS - Artefato 2.....	100
Figura 39 - Plataforma complementar desenvolvida em Python.....	102
Figura 40 - Filtros da plataforma complementar	105
Figura 41 - Exemplo de plotagem dos dados nas duas plataformas	106
Figura 42 - Análise isolada da base de dados ambientais coletada pelo artefato 1	107
Figura 43 - Apenas dados de ruído coletados pelo artefato 1	108
Figura 44 - Dados de qualidade do ar	109
Figura 45 - Dados de partículas suspensas no ar	110
Figura 46 – Evidências das buscas bibliométricas	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conceitos e temas de cidades inteligentes (continua)	34
Quadro 2 - Superposição de termos.....	37
Quadro 3 – Domínios das cidades inteligentes.....	39
Quadro 4 – Gerações das <i>smart cities</i>	40
Quadro 5 – Tecnologias habilitadoras	43
Quadro 6 – Ofertas de valor baseadas em dados aplicadas ao contexto de cidades inteligentes	49
Quadro 7 - Relação dos objetivos com os artefatos.....	64
Quadro 8 - Registro do processo de consolidação teórica e do artefato (continua)	65
Quadro 9 - Requisitos do artefato 1	68
Quadro 10 - Dispositivos de mercado e convergência com o projeto	69
Quadro 11 - Especificações técnicas de hardware do Artefato 1	71
Quadro 12 - Requisitos do artefato 2.....	94
Quadro 13 – Convergência das ferramentas de mercado com requisitos do artefato 2.....	95
Quadro 14 – Exemplos de políticas de smart cities que em que os artefatos podem subsidiar dados.....	111
Quadro 15 - Indicadores da ISO 37122 diretamente impactados pela pesquisa	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados bibliométricos.....	27
Tabela 2 – Compilado de dados alimentados no artefato 2.....	98

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DSR	<i>Design Science Research</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LGPD	Lei Geral de Proteção de dados
GEE	Gases do Efeito Estufa
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
POC	<i>Proof Of Concept</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Act</i>
RQ	Requisito
SC	<i>Smart Cities</i>
TI	Tecnologia da informação
TIC	Tecnologia da Informação e comunicação
TICs	Tecnologias da Informação e comunicações
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO	17
1.2	OBJETIVO GERAL	20
1.2.1	Objetivos específicos.....	20
1.3	JUSTIFICATIVA	21
1.4	DELIMITAÇÃO	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	SOCIOLOGIA URBANA E A FUNÇÃO SOCIAL DA TECNOLOGIA	28
2.2	CIDADES INTELIGENTES.....	30
2.2.1	Evolução do termo e do conceito	30
2.2.2	Tecnologias e uso de dados nas cidades	40
2.3	CENTRALIDADE CIDADÃ E SATISFAÇÃO COM A VIDA NAS CIDADES ..	48
3	PROCEDIMENTOS MÉTODOLÓGICOS	52
3.1	<i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i>	52
3.1.1	Modelo do processo de DSR	54
3.2	A JORNADA DE APLICAÇÃO DO MÉTODO	56
3.2.1	Protocolo de pesquisa	58
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	63
4.1	CICLOS ITERATIVOS DE DESENVOLVIMENTO	64
4.2	ARTEFATO 1 – DISPOSITIVO IOT	67
4.3	ARTEFATO 2 – PLATAFORMAS DE ANÁLISE DE DADOS	84
4.4	CASOS DE USO - MODELOS DE APLICAÇÃO	103
4.5	DISCUSSÃO	112
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
	REFERÊNCIAS	123
	APÊNDICE A – BUSCAS BIBLIOMÉTRICAS.....	139
	ANEXO A – ISO 37122	142

ANEXO B – TEMAS DOS ARTIGOS E VÍNCULO COM A ISO 37122	151
--	------------

1 INTRODUÇÃO

A cidade pode ser vista como um produto da natureza humana (PARK, 1915) ou um superorganismo por suas características sistêmicas e pela integração de aspectos físicos, biológicos e sociais (LEON, 2008). Essa lente teórica da ecologia urbana provê subsídio para o estudo das relações entre os seres vivos e entre eles e seu meio ambiente de forma que oferece suporte para investigar os efeitos das externalidades do antropoceno (DERICKSON, 2018a; LEWIS; MASLIN, 2015; SIKANDAR; ALI; HASSAN, 2024; YIGITCANLAR; FOTH; KAMRUZZAMAN, 2019) que, unida à escalada demográfica, intensifica a complexidade e a importância dos agrupamentos urbanos (SHARIFI *et al.*, 2024) e acentua desafios estruturais (PICON, 2018), socioeconômicos (KUMAR *et al.*, 2020a) e ambientais (WU; XIE; LYU, 2023; YIGITCANLAR *et al.*, 2018a). Atualmente mais de 50% da população mundial reside em áreas urbanas e estima-se que até 2050 as cidades acolham 68% dos cidadãos, totalizando aproximadamente 6,6 bilhões de habitantes (ONU, 2022). Além disso, as cidades ocupam cerca de 2% do espaço geográfico, produzem 80% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e consomem aproximadamente 80% dos recursos mundiais (DE BEM MACHADO *et al.*, 2021; YIGITCANLAR *et al.*, 2018a). Como desdobramento, as cidades enfrentam problemas com a gestão de seus recursos (NIKOLOV, 2024) principalmente com a geração, armazenamento e distribuição energia (CALVILLO; SÁNCHEZ-MIRALLES; VILLAR, 2016; PAES *et al.*, 2023), tratamento de água e esgoto (CHEN, 2024; ROJEK; STUDZINSKI, 2019), mobilidade (YAN *et al.*, 2023; ZAWIESKA; PIERIEGUD, 2018), qualidade do ar (GALLOTTI; SACCO; DE DOMENICO, 2021; SCHÜRHOZ; KUBLER; ZASLAVSKY, 2020), resíduos sólidos (LELLA; MANDLA; ZHU, 2017; PAES *et al.*, 2023), iluminação e segurança pública (CHO *et al.*, 2019; YAN *et al.*, 2023), dentre outros fatores que estão associados à qualidade de vida dos cidadãos (CHEN, 2023; ISMAGILOVA *et al.*, 2019; KIM; HAN, 2012; NEIROTTI *et al.*, 2014a).

Assim como as cidades, a tecnologia também pode ser caracterizada como uma extensão da vida natural (KEVIN KELLY, 2010; LOBO, 2021). Uma abordagem evolutiva e moderna da história da tecnologia pode ser adotada com base darwiniana quando assumimos que as tecnologias mudam como resultado de processos de descendência com modificação, portanto, entende-se que a tecnologia avança de forma cumulativa (SHENNAN, 2015). Essa característica evolutiva e incremental das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) criou dispositivos, ferramentas e sistemas de sensoriamento capazes de amplificar o número de variáveis observadas, o formato e a dinâmica da coleta e tratamento de dados no contexto das

idades. Desse modo, o conhecimento, aliado as TICs pode ser empregado para medir, informar, controlar, mitigar e, por vezes, solucionar problemas urbanos e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos ao mesmo tempo que contribui para o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, durante a década de 1990, adotaram-se os termos cidades inteligentes (*smart cities*) e cidades inteligentes e sustentáveis (*smart sustainable cities*) que persistem na literatura (AHVENNIEMI *et al.*, 2017a; CASTAGNA; STRAUHS, 2024; DAMERI; COCCHIA, 2013a; HOLLANDS, 2008). Nesse sentido, o tema possui convergência com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) que indicam a emergência da sustentabilidade nas cidades (ONU, 2015) e incluem garantir vidas saudáveis e promover bem-estar para a sociedade (KAUL; DESHPANDE; RAUT, 2023; KOLESNICHENKO *et al.*, 2021). Mesmo que possua diretrizes normatizadas por meio da ISO 37122:2019 – Desenvolvimento Sustentável em Comunidades: Indicadores de Cidades Inteligentes, autores afirmam que a definição de *smart cities* está em construção (KURU; ANSELL, 2020a; NEIROTTI *et al.*, 2014a; OLADUNMOYE; OBAKIN, 2023a; YIGITCANLAR *et al.*, 2019).

O desenvolvimento e aplicação de soluções tecnológicas e o uso adaptável da tecnologia são necessários para a construção de cidades inteligentes e sustentáveis (KUMAR *et al.*, 2020a; NIKOLOV; PAVLOV, 2022). A partir desse entendimento, estudos propõem a abordagem de cidade inteligente centrada no cidadão. Nesse viés, percebe-se a tecnologia como um catalisador para a melhoria do capital humano, com a função principal de encorajar o envolvimento genuíno das pessoas em cidades inteligentes por meio da tomada de decisões, cocriação de ideias ou na coprodução de projetos (KUMAR, 2024; MALEK; LIM; YIGITCANLAR, 2021).

Essa abordagem contrapõe a visão orientada à tecnologia, que se refere à uma dinâmica de gestão urbana onde *hardwares* e *softwares* são priorizados ao promover melhorias urbanas e que delega às empresas de TICs a missão de transformação das cidades (SÖDERSTRÖM; PAASCHE; KLAUSER, 2014). Quando considerada a centralidade cidadã em uma cidade inteligente, independentemente da posição do indivíduo na sociedade, a importância da tecnologia assume função de meio - um papel transversal de ferramenta habilitadora - ou seja, um recurso com potencial de impulsionar mudanças radicais no ambiente em que será empregada (ANTHOPOULOS; JANSSEN; WEERAKKODY, 2023; BIFULCO *et al.*, 2016; KHELLADI; CASTELLANO; KALISZ, 2020). Essa proposta de centralidade cidadã está alicerçada em um paradigma tecnológico humanizado e em uma abordagem *bottom up*, onde problemáticas e questionamentos emergem da sociedade e, por meio da cidadania, podem contribuir para o contorno de desafios na melhora da qualidade de vida e consequente satisfação

dos cidadãos nas cidades (ISMAIL; KALACH; KLEIB, 2022; WEINSTEIN, 2020).

Na visão das cidades inteligentes *citizen centered*, as prioridades de atuação nos problemas urbanos podem ser originadas a partir da percepção do cidadão (ALLEN *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2020a; VOELZ *et al.*, 2023a). Essa autonomia de priorização é um ato de cidadania na formação de uma cidade inteligente centrada no cidadão, todavia, conflita com premissas do mercado da tecnologia que possui metas comerciais e influencia os governos à adoção de ferramentas tecnológicas para a satisfação de interesses corporativos (ALLEN *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2020a; MALEK; LIM; YIGITCANLAR, 2021; SENATORE; SESSA, 2023). Dessa forma, justifica-se o interesse e a participação ativa no desenho, construção e implementação de soluções tecnológicas aplicadas às cidades, bem como a propagação de termos, materiais de apoio, métodos, rankings e *cases de sucesso* por companhias como IBM, CISCO, Microsoft, Intel, Siemens, Oracle, SAP, entre outras (GOLUBCHIKOV; THORNBUSH, 2022; KITCHIN, 2014a).

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

As tecnologias aplicadas possibilitam o uso dos dados gerados em benefício do desenvolvimento das cidades. Nesse sentido, autores exploram como os dados são utilizados na governança em aplicações que envolvem os cidadãos em centros urbanos (BUI, 2024; MCMILLAN *et al.*, 2016). Na mesma direção, estudos buscam entender como os dados compartilhados podem cruzar as esferas municipais, estaduais e federais (BREUER; PIERSON, 2020; LE DANTEC; EDWARDS, 2010), ou como abordagens humanistas vinculadas às TICs podem contribuir com o planejamento urbano (FREEMAN *et al.*, 2019; SHEHAYEB *et al.*, 2023). Ainda, há pesquisas que buscam explorar como o uso de dados viabilizam iniciativas de infraestrutura e integração entre serviços públicos tais como defesa civil, saúde, segurança, limpeza urbana, gestão e monitoramento de transporte coletivo, iluminação, tele gestão, alfabetização digital, entre outros (ALVES CARNEIRO; VIANA; PENNA LAMOUNIER, 2021; SEKHAR; AHMED; SIDDESH, 2024). Sejam orientados ao cidadão ou à tecnologia, os dados são constituintes essenciais para a realização de uma visão de cidade inteligente (KITCHIN, 2014a; OSU; NAVARRA, 2022; WANG, 2023). Nesse sentido, a evolução das TICs em termos de *hardware*, *software* e comunicação, amplia o horizonte de possibilidades de interação entre o campo físico e o virtual e potencializa a geração de dados (SEKHAR; AHMED; SIDDESH, 2024). A Internet das Coisas (IoT) é um exemplo disso, esse avanço permite a conexão de qualquer objeto com a internet, ou seja, elementos da realidade física

podem enviar e receber dados de forma autônoma em tempo quase real (AHAD *et al.*, 2020; SINGH; KUMAR, 2023).

Nessa direção, no Canadá foi realizado um estudo de implantação com múltiplos dispositivos IoT e sensores ambientais incluindo qualidade do ar, ruído, clima, fatores de mobilidade e uso do solo foi conduzido. Como resultados, foram revelados novos conhecimentos que subsidiaram políticas e que melhoraram as dinâmicas urbanas relacionadas ao setor da saúde, estas refletiram em melhoria de qualidade de vida dos seus cidadãos (BROOK *et al.*, 2018). Os dados também têm potencial de estimular a inovação, o crescimento econômico e o desenvolvimento social por meio da capacitação dos atores com informações abertas e transparentes. As bases geradas e divulgadas por uma cidade inteligente alimentam um ecossistema vivo composto por agentes que criam produtos e serviços que fomentam a inovação, por meio do compartilhamento de dados abertos com empresas, governo, academia e sociedade (ABELLA; ORTIZ-DE-URBINA-CRIADO; DE-PABLOS-HEREDERO, 2017; KOZARIK *et al.*, 2022).

Por conta da celeridade e diversidade, dados advindos de meios tecnológicos permitem aprofundar análises dos problemas e estabelecer relações de causa e efeito de forma multidimensional e em espaços de tempo mais curtos. Tal rapidez, combinada com características de experimentação tecnológica e inovação, convergem ao entendimento da cidade como um laboratório urbano vivo (NICHI; CORTESE, 2024; NICKLAS, 2023), onde as ações podem ser implantadas, medidas e ajustadas em tempo real ou quase real (LEVENDA, 2019; SEKHAR; AHMED; SIDDESH, 2024). Diante desse contexto, as cidades inteligentes participam do aumento da produção de dados a um ponto em que a relação entre *big data* e cidades inteligentes pode se tornar favorável à pesquisa científica, melhoria dos serviços públicos, desenvolvimento econômico (ABELLA; ORTIZ-DE-URBINA-CRIADO; DE-PABLOS-HEREDERO, 2017; NILAM NARAYAN DHAGE, 2023) e aumento da satisfação com a vida dos cidadãos (RADZISZEWSKA, 2023; YU *et al.*, 2020).

Embora a satisfação seja um tema comumente estudado em pesquisas na área de marketing, estudos aplicados a temática urbana revelam que o funcionamento social de um lugar pode estar associado à interação e a satisfação de seus cidadãos (FACHINELLI *et al.*, 2017). No mesmo sentido, estudos empíricos indicam forte influência da satisfação do cidadão no apego ao lugar, atitude de marca do lugar e comportamento de cidadania positiva (FAVERO; WALKER; ZHANG, 2024; ZENKER; RÜTTER, 2014). De forma complementar, autores relacionam o elevado nível de satisfação com a vida com atração de investimentos, turistas, visitantes e novos moradores o que como consequência, imprime valor econômico para o local

e gera um referencial associado à qualidade de vida (DE MEDEIROS; DA COSTA, 2016; KUSUMAWATI; RAHAYU, 2022). A satisfação com a vida tem sido elencada como um antecedente do bem-estar subjetivo, dessa forma constitui a base para formulação de políticas públicas e pode gerar indicadores para medir o progresso e o desempenho social. Um exemplo disso pode ser evidenciado na agenda denominada Estratégia Europa 2020. A iniciativa foi concebida para transformar a União Europeia em uma economia mais inteligente, sustentável e inclusiva, que proporciona altos níveis de emprego, produtividade e coesão social por meio de oito metas distribuídas na área de educação, pesquisa e desenvolvimento, clima, energia, emprego e renda. Esse programa possibilitou aumentar os níveis da satisfação com a vida dos cidadãos europeus proporcionalmente ao atingimento das metas (KUBATKO *et al.*, 2022; SÁNCHEZ; RUIZ-MARTOS, 2018), ou seja, os países mais próximos de alcançar os resultados das políticas públicas propostas pelo programa revelaram maior nível de satisfação de seus residentes. Nessa direção, é possível afirmar que as iniciativas das cidades inteligentes impactam a qualidade de vidas dos cidadãos (ALAWADHI *et al.*, 2012; HARTLEY, 2023). Portanto, assume-se o argumento de que o aumento da satisfação dos cidadãos com a vida imprime melhoria nas cidades.

De forma complementar, a mineração, o refinamento e o processamento de dados melhoram a inteligibilidade urbana. Registros de padrões ambientais, de movimento humano e mecânico que ocorrem dentro das cidades, que até recentemente eram perceptíveis apenas através de métodos dependentes de censo e de intervenção manual, passam a contar com uma rede, onde há sensores e tecnologias que reduzem o custo, o tempo e permitem a automatização do processo (HAWKEN; HAN; PETTIT, 2020; SAUMIL B TRIVEDI; DR. ABHISHEK MEHTA, 2024a). Um sensor é um dispositivo que converte parâmetros de natureza física em um sinal eletrônico, que pode ser interpretado por humanos ou pode ser alimentado em um sistema autônomo (HANCKE; DE SILVA, 2013; KUMAR *et al.*, 2024) fornecendo dados em tempo real ou quase real (VAN KLEUNEN; MULLER; VOIDA, 2021). Ainda que fontes de dados em tempo real estejam em ascensão, para além da discussão conceitual, há uma predominância empírica nos estudos relacionados às cidades inteligentes que reúnem aspectos relacionados às TICs e à qualidade de vida (LAZZARETTI *et al.*, 2019; MIRANDA *et al.*, 2024; SHARIFI, 2020). Portanto as TICs, especialmente com o advento da IoT e dos sensores, tornam a produção e o acesso das informações exponencialmente maiores em volume, velocidade e variedade, que resulta em inteligibilidade urbana (SEKHAR; AHMED; SIDDESH, 2024; ZANELLA *et al.*, 2014). Essa capacidade de compreensão dos centros urbanos pode servir a outros interesses, como àqueles comerciais, e raramente é igualmente

compartilhada ou acessível entre os residentes das cidades.

Na realidade do presente projeto de pesquisa, os dados advindos de sensores serão admitidos como dados primários pois serão captados para um propósito específico por meio da intervenção do pesquisador, enquanto os dados secundários caracterizam-se por aqueles que foram coletados para outro propósito e por meio de outras pessoas (JOHNSTON, 2014). No contexto das cidades esses dados podem prover suporte ao planejamento urbano, ao desenvolvimento de políticas públicas e a novos modos de governança. Então, a questão que se coloca e que define o problema de pesquisa deste projeto é:

Como o desenvolvimento de artefatos tecnológicos que coletam variáveis ambientais de forma dinâmica e georreferenciada e os cruzam com bases de dados secundárias podem contribuir para o entendimento das dinâmicas urbanas em Caxias do Sul-RS, gerando dados para futuras iniciativas de cidades inteligentes centradas no cidadão?

A presente tese sustenta que o desenvolvimento e a implementação de artefatos tecnológicos capazes de coletar dados ambientais geoespaciais em tempo quase real e integrá-los com bases de dados secundárias contribuem para o avanço do conhecimento sobre as dinâmicas urbanas. Esses artefatos incrementam o espectro de variáveis existentes com novos elementos, permitem a espacialização dos dados, e acrescentam capacidades analíticas para o processamento, cruzamento, visualização e exportação de dados no contexto urbano. Dessa forma, o presente trabalho busca subsídios técnicos para a formulação de políticas de *smart cities* além de incorporar a percepção dos cidadãos como elemento do processo de desenvolvimento urbano.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar um protótipo funcional de um dispositivo IoT (*Internet of Things*) dinâmico de coleta de dados ambientais georreferenciados em tempo real e uma plataforma digital de integração de dados ambientais e bases de dados secundárias para a compreensão de dinâmicas urbanas em Caxias do Sul-RS, visando subsidiar a formulação de políticas de *smart cities* centradas no cidadão.

1.2.1 Objetivos específicos

Com base nisto, têm-se como objetivos específicos:

- a) criar e validar um protótipo de dispositivo IoT para captação dinâmica de dados

- ambientais georreferenciados por meio de sensores;
- b) estabelecer sistema e arquitetura para coletar, armazenar e disponibilizar os dados ambientais coletados com o uso do dispositivo IoT;
- c) agrupar e normalizar bases de dados que integrarão a plataforma;
- d) desenvolver uma interface que permita analisar dados coletados de sensores com dados de satisfação do cidadão e com bases de dados secundárias relacionadas à gestão urbana da cidade de Caxias do Sul;
- e) evidenciar potenciais aplicações dos artefatos desenvolvidos no contexto de *smart cities* centradas no cidadão.

1.3 JUSTIFICATIVA

A crescente atenção global direcionada a temática das cidades inteligentes se materializa em normativas como a ISO 37122:2019 – Desenvolvimento Sustentável em Comunidades: Indicadores de Cidades Inteligentes, esse instrumento propõe métricas padronizadas para *smart cities*. Além de complementar a ISO 37120:2017 - Cidades e comunidades sustentáveis que sugere a padronização de indicadores de serviços municipais e qualidade de vida, a ISO 37122 apresenta 80 indicadores objetivos distribuídos em 19 dimensões: economia, educação, energia, meio ambiente, finanças, governança, saúde, habitação, população e condições sociais, recreação, segurança, resíduos sólidos, esporte e cultura, telecomunicações, transporte, agricultura urbana local e segurança alimentar, planejamento urbano, resíduos líquidos e água.

A normativa tem como propósito auxiliar no direcionamento das cidades em relação a avaliação da gestão do desempenho dos serviços prestados em consonância com a qualidade de vida de seus cidadãos. Sua concepção considera a sustentabilidade como princípio geral e a cidade inteligente como um conceito orientador no desenvolvimento das cidades. Em seu capítulo introdutório, a ISO 37122:2019 declara seu objetivo de auxiliar as cidades na busca de metas ambientais e de sustentabilidade de modo inovador. Ela apresenta diretrizes para cidades na utilização de dados e de tecnologias no intuito de oferecer melhores serviços aos residentes, empresas e visitantes e para proporcionar qualidade de vida em um ambiente onde políticas, práticas e tecnologias inteligentes são colocadas a serviço dos cidadãos. Entretanto, esse direcionamento centrado no cidadão está claramente explícito em apenas 31 dos 80 indicadores que pertencem a 12 das 19 dimensões. Esse recorte é evidenciado por meio de notas contidas no descritivo geral dos indicadores propostos pela ISO 37122:2019 que se referem ao impacto

no bem-estar, conceito que é considerado como antecedente da satisfação dos cidadãos com a vida (MACKE; RUBIM SARATE; DE ATAYDE MOSCHEN, 2019) e reconhecido como uma parte vital das sociedades humanas (GERRAND; ROSE, 2023). Para aprofundar a questão, uma matriz analítica consta como Anexo A deste documento.

Não somente sobre o cidadão, mas também na perspectiva tecnológica, a ISO 37122:2019 apresenta metas expressas em indicadores que possuem relacionamento direto com as TICs, algumas delas com potencial de serem medidas ou alcançadas com o uso de sensores e que merecem ser amplamente estudadas. Diante dessa condição, em 19 de maio de 2021, realizou-se uma busca na base de dados Scopus, pelas palavras-chave “*sensor*” and “*smart cit**” que resultou em mais de 4 mil documentos. No sentido de viabilizar o aprofundamento e o posicionamento do estudo na dimensão teórica em relação à literatura sobre esta temática, optou-se pela restrição da busca apenas ao título dos documentos, desse modo foram encontrados 294 resultados. Os documentos foram categorizados em acordo com suas temáticas principais. Diante dos resultados foi possível observar que aproximadamente 33% dos estudos referem-se a aspectos de *smart cities* relacionados com o *design* de cidades inteligentes aliado ao uso de sensores, enquanto 6,8% estão relacionados com aspectos direcionados ao tráfego na temática de mobilidade. Ainda foi possível observar que os estudos que tratam da qualidade do ar representam 6,12% enquanto outros 6,12% dos estudos concentram-se em estudar e propor alternativas para a eficiência energética da alimentação dos sensores, corroborando com o predomínio empírico relatado. Ainda foi possível relacionar 66 dos 294 trabalhos com os indicadores objetivos da ISO 37122:2019 totalizando 22,45% das publicações. A planilha tabulada está disponibilizada como Anexo B do presente documento. Nessa análise bibliométrica não foi possível evidenciar estudos que explorem a relação direta entre dados advindos de sensores, dados secundários e a satisfação do cidadão com a vida nas cidades inteligentes. Por isso, ao posicionar a tecnologia como um facilitador crucial na coleta e análise de dados, a pesquisa avança no entendimento de como a governança urbana pode ser orientada de maneira mais participativa e alinhada às necessidades e ao bem-estar da população, promovendo, assim, um aprimoramento teórico e prático no campo das cidades inteligentes.

Para além da dimensão essencialmente teórica e diante da confluência tecnológico-urbana e das demais variáveis que compreendem a complexidade das cidades inteligentes, a academia desenvolve propostas de modelos de avaliação e comparação. Uma revisão sistemática de Sharifi (2020) compilou o esforço acadêmico na busca de métodos padronizados para classificação de cidades inteligentes e revelou que trinta e quatro modelos foram publicados na última década. Os estudos se propuseram a avaliar e comparar o desempenho das

idades e os objetivos de qualidade de vida dos seus cidadãos por meio de dimensões como economia, pessoas, governança, ambiente, habitabilidade, mobilidade e dados. De forma complementar, *rankings* globais constituídos pela academia, institutos, empresas e governos como Smart City Index (THE IMD WORLD COMPETITIVENESS CENTER, 2024), The Global Cities Ranking (KEARNEY, 2022), The Global Power City Index (GPCI, 2023), entre outros, materializam comparações e classificam as localidades. Cidades de países desenvolvidos como Nova Iorque, Londres, Tokio, Singapura, Paris e Amsterdam figuram com frequência na liderança destes *rankings*. O relatório IESE Cities in Motion (2024), por exemplo, é uma iniciativa que conecta uma rede global de especialistas em cidades e empresas privadas especializadas com governos locais de todo o mundo e classifica cidades utilizando nove dimensões: economia, capital humano, coesão social, meio ambiente, governança, planejamento urbano, projeção internacional, tecnologia, mobilidade e transporte. Este relatório classificou cento e setenta e quatro cidades do planeta, e, na contramão de países desenvolvidos, o *ranking* apontou apenas seis capitais brasileiras. As cidades de Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo apareceram no estudo em colocações inferiores a 128ª posição, resultado que sugere oportunidades de melhoria nas cidades brasileiras.

Frente a essa circunstância, esse trabalho pretende considerar a cidade brasileira de Caxias do Sul, localizada no estado do Rio Grande do Sul, como campo de pesquisa. O município, situado na serra gaúcha, tem revelado potencial em termos de tecnologias, mobilização empreendedora, governamental, acadêmica e da sociedade civil que favorecem e habilitam a presente pesquisa no contexto das cidades inteligentes. Atualmente a cidade tem participado de iniciativas em cidades inteligentes, por meio dos atores das hélices da inovação (sociedade civil, empresas, governo e academia) do Programa INOVA-RS, iniciativa do Governo estadual que articula e fomenta ações com potencial de inovação. Uma dessas ações é o *hub* de cidades inteligentes, que objetiva conectar os diferentes atores do desenvolvimento tecnológico regional em um ambiente compartilhado de pesquisa, por meio do desenvolvimento de soluções aplicadas às cidades inteligentes da região. Para além desta ação governamental, o município conta com um polo regional do setor de TIC – Trinopolo - que reúne 10 entidades e mais de 100 associados entre empresas, órgãos do governo, entidades de ensino superior e entidades de classe com a finalidade de discutir, elaborar e implementar ações conjuntas para o desenvolvimento do setor tecnológico na região (TRINOPOLO, 2024). Em uma de suas ações, a instituição adquiriu antenas e disponibilizou infraestrutura de rede gratuita que possibilita a comunicação sem fio de dispositivos IoT em algumas regiões do município de Caxias do Sul de forma a habilitar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico de soluções para cidades

inteligentes. Na dimensão acadêmica, a cidade conta um laboratório vivo de cidades constituído por pesquisadores da Universidade de Caxias do Sul. O núcleo, denominado City Living Lab, desenvolve pesquisa básica e aplicada em cidades e tem por propósito contribuir com a identificação, avaliação e desenvolvimento das cidades e dos negócios brasileiros (CITY LIVING LAB, 2024). Diante do exposto, entende-se que a cidade de Caxias do Sul tem potencial para ser estudada enquanto campo de aplicação da presente pesquisa.

1.4 DELIMITAÇÃO

As cidades são sistemas complexos e dinâmicos que compreendem, para além de uma ampla gama de componentes sociais e humanos, características físicas e ambientais. Nesse sentido, o amplo espectro de tecnologias disponíveis permite que tais características sejam quantificadas de forma abrangente em detalhes sem precedentes. Estas incluem características intrinsecamente geográficas como as condições ambientais de clima, ruído, umidade, luminosidade e qualidade do ar (CHONDROGIANNI; KARATZAS, 2023; SAGL; RESCH; BLASCHKE, 2015a). Tais dados são amplamente padronizados e sua pontualidade impacta positivamente na reutilização que, por sua vez, impulsiona a inovação (ABELLA; ORTIZ-DE-URBINA-CRIADO; DE-PABLOS-HEREDERO, 2017; DHABLIYA *et al.*, 2023). Além disso, seu uso está relacionado aos impactos e benefícios à saúde e a qualidade de vida (BROOK *et al.*, 2018; HUI *et al.*, 2023).

Na presente pesquisa, a criação de um artefato tecnológico que integra sensores de luminosidade, ruído, temperatura, umidade e qualidade do ar, visa fornecer uma base técnica para o monitoramento das dinâmicas urbanas¹ em Caxias do Sul (JARDIM; NETO; CALÇADA, 2023; SHAW, 2021). Esses sensores são projetados para coletar dados ambientais cruciais que refletem as condições físicas da cidade, como níveis de poluição do ar, intensidade do ruído urbano, variações climáticas locais e a qualidade da iluminação pública e níveis de incidência solar. A aplicação desses sensores permite mapear a distribuição espacial dessas variáveis no ambiente urbano, oferecendo uma visão das condições ambientais em diferentes partes da cidade. Sensores de temperatura, umidade e qualidade do ar, por exemplo, podem ser utilizados para registrar as condições atmosféricas em tempo real, proporcionando uma leitura

¹ Dinâmicas urbanas referem-se aos processos e interações contínuos que moldam o funcionamento e o desenvolvimento das cidades. Incluem o movimento populacional, atividades econômicas, infraestrutura e mobilidade, condições ambientais, interações sociais e culturais, além da integração de tecnologias. Esses fatores influenciam a qualidade de vida, a sustentabilidade e a governança urbana, interagindo de forma complexa e mutável no ambiente urbano.

contínua das mudanças que ocorrem no microclima urbano. Da mesma forma, sensores de ruído podem capturar os níveis de som em diferentes áreas, identificando zonas de maior e menor exposição sonora, bem como prover suporte para sistemas de segurança pública uma vez que pode prover informações sobre disparos com armas de fogo, por exemplo.

No mesmo sentido, a luminosidade, medida por sensores específicos, tem potencial para avaliar a qualidade da iluminação em diversas áreas urbanas, o que é essencial para entender como a cidade responde às demandas de segurança e conforto visual, especialmente durante a noite.

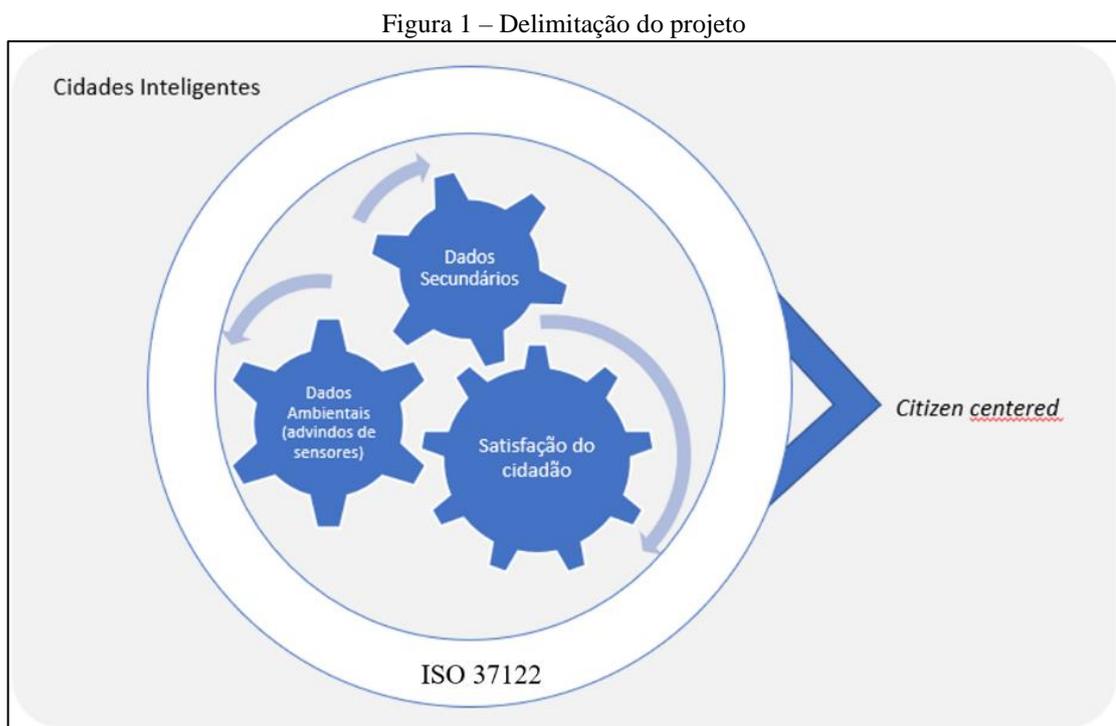
Esses dados coletados pelos sensores contribuem para a compreensão das dinâmicas ambientais da cidade, oferecendo informações detalhadas que podem ser utilizadas para futuras análises e iniciativas de planejamento urbano.

Esses dados primários são coletados por meio de um dispositivo IoT construído para essa finalidade. Para que seja viável a coleta dos dados em diferentes pontos da cidade, o equipamento foi concebido com as premissas de ser portátil, que possa funcionar acoplado em face externa de veículos rodoviários e foi composto por um invólucro, hardware de sensores e placa lógica, componentes de geolocalização, comunicação e alimentação de energia.

As instituições políticas que operam programas de governo estão cada vez mais direcionadas a desenvolver seus programas em resposta a dados reais, no entanto questiona-se como os líderes governamentais podem utilizar os dados para melhorar o bem comum (KIM; WELLSTEAD; HEIKKILA, 2023; LE DANTEC; EDWARDS, 2010). Portanto, para além dos dados primários, o presente estudo considerou conjuntos de dados secundários urbanos, mais especificamente aqueles relacionados com a área de segurança e dados da base censitária da cidade de Caxias do Sul. De forma complementar, diante do contexto de cidade inteligente centrada no cidadão, o presente projeto de pesquisa também considerou os dados referentes a satisfação do cidadão com a vida. A pesquisa foi realizada por pesquisadores da Universidade de Caxias do Sul por meio do núcleo City Living Lab e utiliza um instrumento validado conhecido por City Life Sat. A escala foi fundamentada em instrumentos como *european barometer*, *latin america barometer*, indicadores de qualidade do ambiente residencial percebido (PREQI) e no índice do senso de comunidade (SCI). Por fim, o instrumento consolida 11 dimensões de análise, das quais 7 foram utilizados na presente pesquisa: saúde/bem-estar, meio ambiente, recreação, caminhabilidade, serviços de mobilidade, serviços públicos básicos e segurança. Salienta-se que a satisfação do cidadão é principalmente ligada à saúde e segurança, bem-estar, recreação, transporte público, facilidade de locomoção, inclusão e participação social, serviços primários, vínculo com a cidade, e ambiente (DA SILVA *et al.*,

2019a).

Complementarmente aos conjuntos de dados e as referências revelados por meio do protocolo bibliométrico, este projeto de tese considera a norma ISO 37122:2019 como um artefato balizador do estudo. Isso porque a normativa provê requisitos, conceitos e classificações fundamentais no contexto das Cidades Inteligentes de forma consolidada e em âmbito global. A *Figura 1* representa graficamente a delimitação do projeto.



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Em síntese, a pesquisa centrada em Caxias do Sul-RS, visa integrar sensores de luminosidade, ruído, temperatura, umidade e qualidade do ar em um dispositivo portátil de IoT, possibilitando a coleta e análise de dados ambientais em tempo real. Esses dados não apenas refletem a realidade física e atmosférica da cidade, mas também contribuem para melhorar a qualidade de vida urbana ao informarem decisões de planejamento, segurança e políticas públicas. Além disso, a pesquisa incorpora dados secundários sobre segurança, satisfação dos cidadãos e do censo. Com base na norma ISO 37122:2019, a tese propõe um framework para desenvolver cidades inteligentes centradas no cidadão, enfatizando a necessidade de dados concretos para fundamentar intervenções que visem o bem-estar e qualidade de vida da população ao passo que constrói tecnologia para inovação no contexto urbano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com base na questão de pesquisa do projeto, que aborda conceitos relacionados a tecnologia, ao urbano e aos cidadãos e que são estudados em conjunto no contexto de cidades inteligentes, realizaram-se buscas na base de dados *Scopus* e *Web of Science* pelos termos “*smart cit**” relacionados com “*citizen cen**”, “*citizen sat**”, “*sensor*”, “*data*” por meio do conectivo “*AND*”. O protocolo bibliométrico considerou as leis bibliométricas relativas à produtividade de autores Lotka (1926), periódicos Bradford (1934) e frequência de palavras Zipf (1949), as buscas estão evidenciadas como Apêndice A do presente documento.

Pela natureza do método e pela característica multidisciplinar imposta na construção do presente trabalho, também foram realizadas pesquisas exploratórias complementares com o objetivo de ampliar as visões subjacentes ao tema, tomar contato com autores e periódicos relevantes e compreender o caminho e a abrangência da área de estudo. A busca por artigos foi somada às buscas nas bases de dados de teses e dissertações nacionais e internacionais, bem como livros que apresentam convergência com o objetivo de estudo proposto, e então o presente projeto de pesquisa teve seu referencial constituído, conforme resumido na *Tabela 1*.

Tabela 1 – Resultados bibliométricos

Recorte	Sensor e dados				Centralidade Cidadã			
	"smart cit*" AND "data"		"smart cit*" AND "sensor"		"smart cit*" AND "citizen cen*"		"smart cit*" AND "citizen sat*"	
Termos de busca:	Scopus	Web Of Science	Scopus	Web Of Science	Scopus	Web Of Science	Scopus	Web Of Science
Base	Scopus	Web Of Science	Scopus	Web Of Science	Scopus	Web Of Science	Scopus	Web Of Science
Quantidade de resultados sem filtragens	2.203	878	366	60	81	38	8	4
Filtro(s) aplicado(s)	Título, Resumo e Palavras-chave, Artigo, Ciências sociais	Título, Resumo e Palavras-chave, Artigo, Ciências sociais e correlatas	Título, Resumo e Palavras-chave, Artigo, Ciências sociais	Título, Resumo e Palavras-chave, Artigo, Ciências sociais e correlatas	Título, Resumo, Palavras-chave, Artigo, Ciências sociais	Título, Resumo, Palavras-chave, Artigo, Ciências sociais e correlatas	Título, Resumo, Palavras-chave, Artigo, Ciências sociais	Título, Resumo, Palavras-chave, Artigo, Ciências sociais e correlatas
Motivo(s) do(s) filtro(s)	Volume, aderência e validade científica	Volume, aderência e validade científica	Volume, aderência e validade científica	Aderência	Aderência	Aderência	Aderência	Aderência
Consultados após filtragens	157	27	133	22	64	16	6	4
Crítérios	Crítérios objetivos: relevância (número de citações), tendência (mais recentes). Subjetivos: aporte de conteúdo ao trabalho (análise exploratória).							
Data da última busca	20/10/2024							
Observações	Foram explorados os documentos mais citados antes de aplicar filtros.							
	A ferramenta de busca considera os resultados de documentos que contém hífen.							
	Predominância de resultados redundantes nas buscas pelas bases Scopus e Web Of Science.							
	Houve pesquisa bibliográfica exploratória complementar, que aportou estudos para o presente trabalho.							

Fonte: elaborada pelo autor (2024).

Antes de discorrer sobre os conceitos objetivos, cabe posicionar a base teórica adotada para esse projeto de tese que encontra fundamento na sociologia urbana e no papel social da tecnologia.

2.1 SOCIOLOGIA URBANA E A FUNÇÃO SOCIAL DA TECNOLOGIA

O surgimento da Sociologia Urbana não demonstra evidências de estar relacionada com uma preocupação acentuada de elaboração teórica, o que carregaria consigo a necessidade de rigor lógico para sua definição no espectro científico, mas da necessidade urgente em desafiar problemas “práticos” resultantes do crescimento de grandes cidades que acompanharam a industrialização e o desenvolvimento capitalista em fins do século XIX e início do XX (VELHO, 1987). Nesse sentido, pode-se afirmar que o fator mais importante que afetou o crescimento das cidades nas sociedades desenvolvidas e em desenvolvimento foi a presença de unidades industriais. Isso pois as atividades de manufatura são fortemente seduzidas pelas cidades, especialmente capitais, pelos serviços prestados para as instalações e infraestrutura, pela disponibilidade de trabalhadores qualificados, e pelo grande tamanho do mercado e a disponibilidade de transporte e comunicação. Estudos indicam impactos também no crescimento populacional entre 1750 - o início da revolução industrial - até 1850, com o incremento de foi de cerca de 447 milhões de pessoas, que pode representar a maior ascensão demográfica da história (AHMED; BAYOMY, 2020).

Esse crescimento trouxe consigo uma série de fenômenos que não eram conhecidos na escala em que se apresentaram. Tais situações impactaram o espectro social e evidenciaram problemas relacionados a habitação, cultura, delinquência entre outros no âmbito do planejamento urbano. É em resposta a esses desafios e com suporte dos estudos sub sociais da ecologia humana que se desenvolve a Sociologia Urbana. O estudo sociológico urbano teve a Escola de Chicago como seu principal expoente e ascendeu na década de 1920, por meio da figura de Robert Ezra Park que ainda em 1916 desenvolveu um estudo que abordava a cidade como “organismo social”. Essa abordagem está fundamentada na ecologia enquanto ciência que estuda as relações entre os seres vivos, também entre eles e seu meio. Portanto tem muito a contribuir na compreensão no modo como os seres humanos relacionam-se entre si e com outros organismos à medida que transformam e organizam seu entorno em cidades e regiões (LEON, 2008).

Os resultados dos estudos de Park (1915) contribuíram com o avanço do entendimento dos centros urbanos sob a óptica sociológica e convergem com o recorte da centralidade cidadã

proposta pelo presente projeto. Para ele, a cidade é descrita como o habitat natural do homem civilizado. Nela, o homem desenvolveu a filosofia e a ciência e, nesse “mundo” construído pelo homem, alcançou uma vida intelectual que o distingue de outros animais, inclusive do homem primitivo. Na visão do autor, a cidade e seu entorno urbano representam para o homem uma tentativa coerente e satisfatória para recriar o mundo em que vive em consonância com seu próprio desejo. Se por um lado a cidade é o mundo que o homem criou, também é o mundo onde está “condenado a viver”. Ainda mais que, segundo o autor, os lugares e as pessoas, com todos os mecanismos e aparelhos administrativos que lhe são próprios, são como um todo orgânico. Nesse sentido, tal unidade pode ser caracterizada por um mecanismo psicofísico no qual e através do qual os interesses privados e políticos encontram uma expressão que não é apenas coletiva, mas também organizada. Mais especificamente sobre essa organização formal da cidade, o autor sugere que os prédios, modais de transporte, e demais artefatos não são mais do que servos e dispositivos acessórios, e só se tornam parte integrante da vida da cidade quando e na medida em que estão ligados, pelo uso e pela vontade, às forças vitais dos indivíduos e das comunidades – “exatamente como uma ferramenta na mão do homem” Park (1915, p. 50). Em resumo, a cidade constitui o habitat natural do homem civilizado e é, portanto, uma área cultural caracterizada por um tipo cultural particular, o cidadão. Nações, governos, política e religiões descansam sobre esse fenômeno fundamental da existência humana: a cidade. Assim, indiretamente e sem plena consciência da natureza de sua obra, ao criar a cidade, o “homem recria a si mesmo” Park (1915, p. 115).

No entanto, não é somente sob a óptica da sociologia urbana que o homem, embora sem a plena consciência, por meio de suas criações, recria a si mesmo. O autor Kelly (2010) corrobora com essa afirmação e propõe que a tecnologia e vida devem compartilhar alguma essência fundamental. Em sua obra denominada *What Technology Wants* o autor atribui à tecnologia um novo reino, que possui força e presença equivalentes à força da natureza, denominado *Technium*. Sua teoria concebe a ideia de que há semelhanças entre o *Technium* e os demais reinos naturais. Nesse sentido, propõe que tecnologia é um termo muito pequeno para representar um reino que possui uma espécie de “querer não consciente” que se manifesta de forma autônoma e sofre influência da mente humana. Essa linha teórica converge com as críticas feitas por Rooney (1997) em relação à lógica binária da separação da tecnologia e sociedade, na qual a sociedade não é vista como tecnológica e a tecnologia não é vista como social. No mesmo sentido, desconstrói o estigma desumanizador e “desnaturalizante” que acompanham a tecnologia (ROONEY, 1997). Um ponto a ser observado é que nossa evolução tecnológica força nossas estruturas culturais (LEON, 2008), ou seja, a cultura também é

moldada por conta da evolução da tecnologia. Para dar conta dessa afirmação é válido observar o impacto nas dinâmicas sociais oriundo da ampla adoção de tecnologias, tais como dispositivos móveis, aplicativos, carros, ferramentas e outros recursos forjados pelo homem.

Nesse contexto, a cidade pode assumir o papel de laboratório social (PARK; MARTINEZ, 1999) no qual o ator principal é o cidadão. Diante do exposto, entende-se que a tecnologia e o urbano compartilham do protagonismo humano e social enquanto criador e criatura. Nesse sentido, um papel crucial é desempenhado pelos grupos sociais que podem interagir com artefatos tecnológicos, e pelos significados que esses grupos dão ao artefato: um problema só é definido como tal, quando há um grupo social para o qual ele constitui um problema (PINCH; BIJKER, 1984). Ou seja, ao decidir quais problemas são relevantes, o entorno do homem se modifica e tal modificação recria o homem, isso ocorre no ambiente urbano e no contexto tecnológico. Portanto, o presente projeto acolhe essa perspectiva como base de sua construção teórica.

2.2 CIDADES INTELIGENTES

Nesta subseção busca-se explorar o contexto em que a pesquisa será aplicada, iniciando pelo panorama evolutivo e superposição de termos referidos às cidades inteligentes, contemplando aspectos da construção social e acadêmica do conceito até a adoção e apropriação por parte de governos e empresas de TIC. Ainda como forma de explorar o conceito, aborda-se a prevalência da perspectiva tecnológica e a reivindicação de outras áreas em sua construção. Para além disso, explora-se aspectos relacionados à tecnologia e ao uso de dados no contexto das cidades e por fim converge para a centralidade cidadã e suas articulações no âmbito das *smart cities*.

2.2.1 Evolução do termo e do conceito

O termo “*smart cities*” surge na academia no início dos anos 90. O primeiro artigo acadêmico que cunhou o termo foi publicado em 1992 (GIBSON; KOZMETSKY; SMILOR, 1992; KOMNINOS, 2014), dois anos antes um estudo publicado também teve ineditismo ao referenciar o termo “*intelligent cities*” (BATTY, 1990; KOMNINOS, 2014). Os trabalhos pioneiros já refletiam as perspectivas do desenvolvimento das metrópoles associados à incorporação de inteligência urbana por meio do conhecimento associado às redes, inovações e seus respectivos desdobramentos tecnológicos (KOMNINOS, 2014).

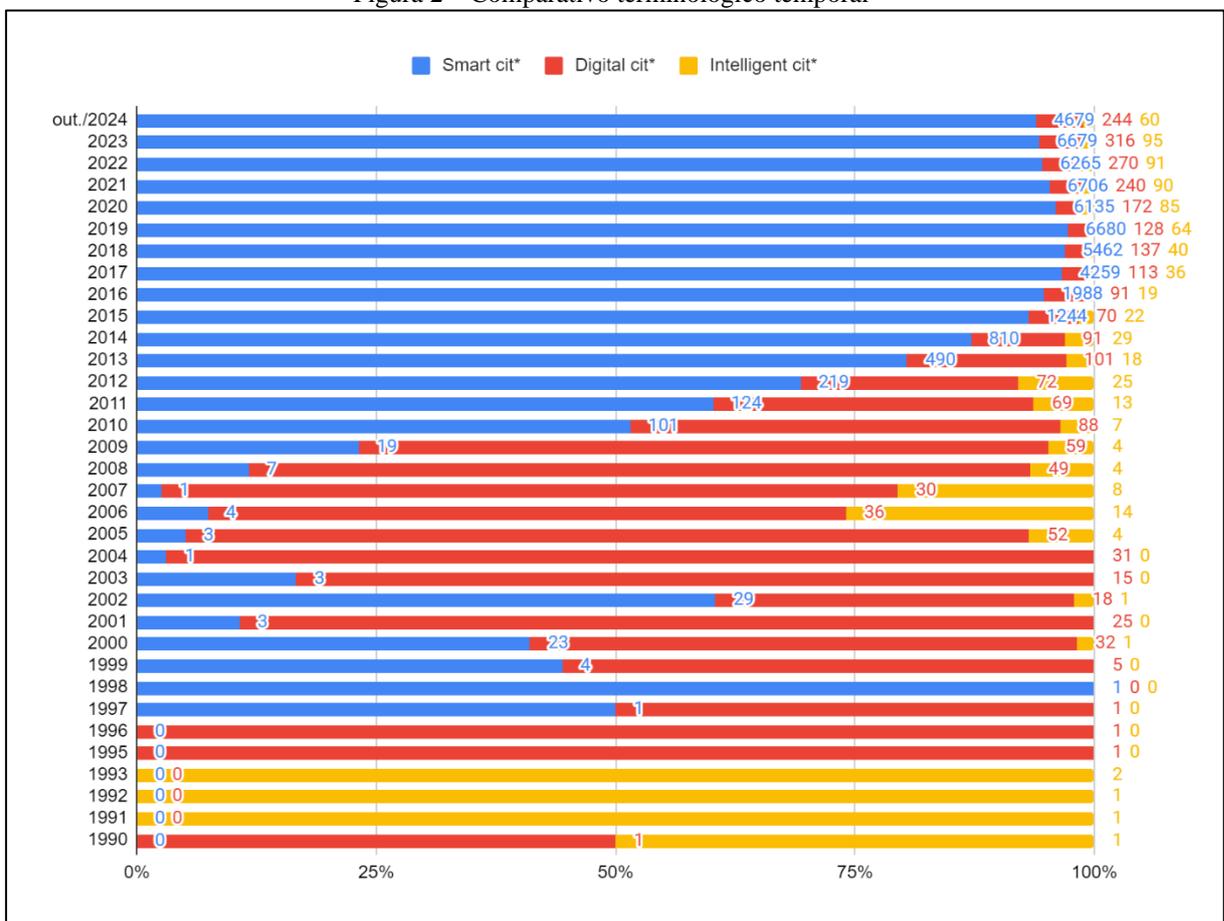
De forma adjacente à academia, mas na mesma direção, ocorriam iniciativas empíricas governamentais. À exemplo de um projeto de cooperação internacional entre os governos do Japão e da Austrália que objetivava a criação de uma cidade planejada conhecida por Multifunctional Polis (MPF). Nessa situação o termo “*technopolis*” foi utilizado para caracterizar o contexto e esteve associado com o objetivo de alocar o ato de criação tecnológica em algum ambiente urbano ou suburbano, contemplando desde centros de pesquisa até a aplicação de recursos inteligentes às cidades (INKSTER, 1990). O projeto da nova cidade também ofereceu a oportunidade de refletir acerca de implicações sociais advindas da adoção de inovações tecnológicas (WINCHESTER; CHALKLEY, 1990). Portanto, sua aparição ocorreu associada e em meio a outros termos, como “sustentabilidade”, “casas ecológicas e inteligentes”, “alta velocidade das tecnologias de informação e comunicação”, “inovação ambiental”, entre outros. Utilizado como adjetivo, o termo à época, propunha uma espécie de autocongratulação e rotulava as cidades que introduziam, automatizavam e otimizavam as infraestruturas funcionais com o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). O rótulo se estendia também para as cidades que promoviam iniciativas de governos eletrônicos e ainda fazia referência àquelas capazes de atrair indústrias de alta tecnologia para fomentar o crescimento econômico (SÖDERSTRÖM; PAASCHE; KLAUSER, 2014). Nesse sentido, a nova e planejada cidade que seria instalada próximo a Adelaide na Austrália, suscitou questionamentos de como a tecnologia poderia ser usada para encorajar um senso de comunidade, e como esse movimento poderia ser gerido em benefício da sociedade (BAALSCHEM, 1985).

Na mesma direção, em 1997, duas cidades da Malásia: Cyberjaya e Putrajaya, foram replanejadas e autodefinidas como cidades inteligentes com a visão de usar a infraestrutura de TIC, não simplesmente para atrair negócios, mas também para auxiliar na direção do funcionamento da cidade. As iniciativas buscavam automatizar e otimizar os processos das cidades e transformar o cenário social e econômico do país, posicionando seus cidadãos na era da informação (BROOKER, 2008; SÖDERSTRÖM; PAASCHE; KLAUSER, 2014). Portanto, diante da proposta da aplicação de novas tecnologias para dinâmica urbana, a MFP, mesmo sem ter alcançado o êxito na sua implantação por escassez de investidores, pode ser considerada pioneira nas contribuições aplicadas ao campo das cidades inteligentes (SÖDERSTRÖM; PAASCHE; KLAUSER, 2014; WINCHESTER; CHALKLEY, 1990).

Ainda durante a década de 90, outros termos análogos circunscreviam o uso da tecnologia da informação e comunicação aplicada aos centros urbanos. Um dos termos que ganhou projeção foi o de cidades digitais. O termo, ainda que tenha sido utilizado antes de

ciudades inteligentes, possui uma delimitação conceitual que facilita seu entendimento peculiar, pois restringe seu uso aos limites virtuais, ao passo que cidades inteligentes transbordam suas relações ao mundo físico, mesmo com limitações geopolíticas (DAMERI; COCCHIA, 2013a). A escalada dos termos em uma perspectiva cronológica revela predominância das “*smart cities*” enquanto objeto de estudos sob a perspectiva acadêmica. Nesse sentido, a *Figura 2* revela um gráfico resultante do compilado de três buscas realizadas pelos termos “*Smart Cit**”, “*Digital Cit**” e “*Intelligent Cit**” em títulos de artigos, resumos e palavras-chave na base de dados *Scopus* com recorte entre os anos 1990 e 2024.

Figura 2 – Comparativo terminológico temporal



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O gráfico apresentado na *Figura 2* revela a intensificação da frequência de aparições do termo “*Smart Cit**” partir dos anos 2000. Esse movimento ascendente é atribuído, dentre outros fatores, ao interesse da iniciativa privada na temática, culminando inclusive no requerimento de patente por parte da IBM no ano de 2009 de um termo derivado: “*smarter cities*”. A empresa, após declarar prejuízos substanciais, deixou de atuar no ramo de hardware

e buscou se reposicionar como empresa de consultoria e desenvolvimento de softwares aplicados. A partir disso, passou a impulsionar marketing agressivo voltado para órgãos públicos e a ofertar soluções específicas para superar problemas urbanos com o uso da tecnologia. Outras empresas de tecnologia também aderiram ao novo nicho de mercado e passaram a produzir soluções de hardware e software aderentes à temática, dentre elas destacam-se a Cisco e a Siemens (DAMERI; COCCHIA, 2013a). Já a partir de 2010, a disseminação do uso do termo passa a ser amplificada como reflexo de iniciativas de cidades inteligentes apoiadas pela união europeia, quando começou a usar o termo "inteligente" para qualificar também ações de sustentabilidade no espaço urbano. Este foi um motivador relevante para a difusão do termo nas publicações científicas (DAMERI; COCCHIA, 2013a; JUCEVIČIUS; PATAŠIENĖ; PATAŠIUS, 2014). Complementarmente, o adjetivo "inteligente" também se referia ao governo de uma cidade e sua capacidade de gerar inovação na forma como os serviços e a comunicação são prestados à população local (GONZÁLEZ; ROSSI, 2011).

Como resultado desse movimento, o termo “*Smart City*” se popularizou, entretanto, há uma variedade de estudos que objetivam consolidar o conceito de Cidade Inteligente pois sua definição e modelo conceitual não refletem consenso entre os pesquisadores (AHVENNIEMI et al., 2017a; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015; CARAGLIU; DEL BO, 2019a; KAUL; DESHPANDE; RAUT, 2023; NEIROTTI et al., 2014; RAMAPRASAD; SÁNCHEZ-ORTIZ; SYN, 2017; SHARIFI et al., 2024; YIGITCANLAR et al., 2018a). No entanto, há ampla concordância sobre o fato de que a cidade inteligente é caracterizada por um uso generalizado das TICs que auxiliam a cidade a fazer melhor uso de seus recursos (DHABLIYA et al., 2023; NEIROTTI et al., 2014; NILAM NARAYAN DHAGE, 2023; SAUMIL B TRIVEDI; DR. ABHISHEK MEHTA, 2024a). Um dos exemplos é a definição proferida pela Comissão Europeia (2024): “Cidades que utilizam soluções tecnológicas para melhorar a gestão e a eficiência do ambiente urbano”. Em termos bastante gerais, as cidades inteligentes envolvem a criação de novas relações entre tecnologia, o ambiente e a sociedade (NIKOLOV; PAVLOV, 2022; SENATORE; SESSA, 2023; SÖDERSTRÖM; PAASCHE; KLAUSER, 2014).

Nessa direção, uma vez que iniciativas de cidades inteligentes não envolvem apenas mudanças tecnológicas e considerando que as TICs são ferramentas que podem ser aplicadas a diversos propósitos urbanos, elas são incapazes de transformar cidades sem o capital humano (CASTAGNA; STRAUHS, 2024; HARTLEY, 2023; ISMAIL; KALACH; KLEIB, 2022; SIKANDAR; ALI; HASSAN, 2024). Dessa forma, outros atributos característicos das cidades devem ser considerados para a formação do conceito, considerando contextos e objetivos de

sustentabilidade econômica, social e ambiental (CARAGLIU; DEL BO, 2019; DE BEM MACHADO et al., 2021; HUI et al., 2023; NEIROTTI et al., 2014; NIKOLOV, 2024; PAES et al., 2023; SHARIFI et al., 2024; WU; XIE; LYU, 2023). A sustentabilidade, por ter sido um dos objetivos primários das cidades inteligentes (CASTAGNA; STRAUHS, 2024; DAMERI; COCCHIA, 2013), é uma das dimensões de estudo que reivindica protagonismo na sua formação conceitual (AHVENNIEMI et al., 2017; CHANG et al., 2018; CHEN, 2024), entretanto apenas uma atenção marginal é dada a estas preocupações. A prática atual é, em sua maioria, unidimensional com a tecnologia no centro (YIGITCANLAR et al., 2018). Desse modo, estudos sinalizam que a compreensão das relações entre as pessoas, suas atividades e o meio ambiente é fundamental para alcançar a sustentabilidade nas cidades e promover consequente melhora na qualidade de vida dos seus cidadãos (AHVENNIEMI et al., 2017; CHEN, 2024; GALLOTTI; SACCO; DE DOMENICO, 2021; HUI et al., 2023; PAES et al., 2023). Embora o uso da tecnologia seja um ponto amplamente aceito na construção do conceito, a consolidação dos fundamentos de *smart cities* carrega consigo o desafio de incorporar múltiplas perspectivas e dimensões de análise (AHVENNIEMI et al., 2017a; CASTAGNA; STRAUHS, 2024; HOLLANDS, 2008; KUMAR et al., 2020a). Nessa direção, o *Quadro 1* apresenta o resgate cronológico de alguns conceitos de cidades inteligentes com seus respectivos autores e seus temas principais relacionados nas últimas décadas.

Quadro 1 - Conceitos e temas de cidades inteligentes (continua)

Tema central	Definição	Referências
Tecnologia, planejamento e gestão.	Áreas urbanas que integram tecnologias avançadas e análise de dados para otimizar as operações da cidade, aprimorar os serviços públicos e melhorar a qualidade de vida geral dos residentes.	Gharlegghi et al. (2024)
Justiça social, governança	Cidades com foco na implementação de políticas de justiça social alinham-se aos critérios da cidade inteligente pela influência positiva na qualidade da governança urbana.	Okafor et al. (2023)
Colaboração, governança, participação política.	Áreas urbanas que integram capital humano, ativos sociais e infraestrutura de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para promover o desenvolvimento econômico sustentável e melhorar a qualidade de vida.	Oladunmoye e Obakin (2023)
Participação cidadã, tecnologia, serviços urbanos.	Definidas como cidades que usam tecnologias inteligentes para melhorar os serviços urbanos, aumentar o engajamento dos cidadãos e promover a sustentabilidade.	Neirotti et al. (2022)
Inclusão tecnológica e social, desenvolvimento econômico.	Cidades capazes de alavancar tecnologia e inovação para criar ambientes urbanos sustentáveis que promovam o crescimento econômico e a inclusão social.	Zubizarreta et al. (2021)
Decisões baseadas em dados, gestão urbana.	Ambientes urbanos que utilizam dados e tecnologia para aumentar a eficiência dos serviços da cidade e melhorar a qualidade de vida dos residentes.	Kitchin (2020)
Governança, tecnologia, produtividade, bem-estar.	A missão de cidade inteligente envolve melhorias na infraestrutura e serviços com o uso da tecnologia para obter crescimento econômico e para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.	Kumar et al. (2020)

Quadro 1 - Conceitos e temas de cidades inteligentes (continuação)

Tema central	Definição	Referências
Sustentabilidade, produtividade, governança, comunidade	Princípios orientadores das cidades inteligentes são o desenvolvimento equilibrado e sustentável e a tecnologia como meio e não como fim e o foco no planejamento e nos ativos.	Yigitcanlar et al. (2018)
Sustentabilidade, tecnologia.	Um objetivo geral das cidades inteligentes é melhorar a sustentabilidade com a ajuda de tecnologias. Portanto, recomendamos o uso de um termo mais preciso "cidades inteligentes sustentáveis" ao invés de "cidades inteligentes".	Ahvenniemi et al. (2017)
Comunidade, bem-estar, sustentabilidade, habitabilidade	Uma comunidade que promove sistematicamente o bem-estar geral de todos os seus membros e suficientemente flexível para se tornar proativa e sustentavelmente um lugar cada vez melhor para viver, trabalhar e se divertir.	Lara et al. (2016)
Sustentabilidade, produtividade, governança, comunidade	Uma forma ideal para construir as cidades sustentáveis do século XXI, no caso de se concretizar uma visão equilibrada e sustentável sobre o desenvolvimento econômico, social, ambiental e institucional.	Lara et al. (2016)
Tecnologia, habitabilidade, política	Uma cidade que pretende ser um ambiente urbano que, apoiado por sistemas de TIC difundidos, é capaz de oferecer serviços avançados e inovadores aos cidadãos a fim de melhorar a qualidade geral de suas vidas.	Piro et al. (2014)
Tecnologia, produtividade, comunidade, governança	Uma cidade que utiliza um sistema inteligente caracterizado pela interação entre infraestrutura, capital, comportamentos e culturas, alcançada através de sua integração.	Alkandari, Alnasheet e Alshaikhli (2012)
Tecnologia, prosperidade, habitabilidade, bem-estar	Uma cidade que representa o desafio futuro, um modelo de cidade onde a tecnologia está a serviço da pessoa e da melhoria de sua qualidade de vida econômica e social.	Lazaroiu e Roscia (2012)
Tecnologia, produtividade, vivacidade, sustentabilidade	Um centro urbano seguro, ecologicamente correto e eficiente do futuro com infraestruturas avançadas como sensores, eletrônica e redes para estimular o crescimento econômico sustentável e uma alta qualidade de vida.	Schaffers et al. (2012)
Comunidade, tecnologia, habitabilidade, sustentabilidade, governança, política, acessibilidade	Uma cidade inteligente quando os investimentos em capital humano e social e em transporte tradicional e infraestrutura moderna de TIC alimentam o crescimento econômico sustentável e uma alta qualidade de vida, com uma gestão sábia dos recursos naturais, através de uma governança participativa.	Caragliu, Del Bo e Nijkamp (2011)
Governança, política, tecnologia	Uma administração ou autoridade pública que fornece ou visa um conjunto de serviços e infraestrutura de nova geração, baseada em tecnologias de informação e comunicação.	González e Rossi (2011)
Tecnologia, governança	Uma cidade que representa um ecossistema extraordinariamente rico para promover a geração de implantações maciças de aplicações e serviços em escala de cidade para muitos setores de atividade.	Hernández-Muñoz et al. (2011)
Comunidade, bem-estar, produtividade	Uma cidade humana que tem múltiplas oportunidades para explorar seu potencial humano e levar uma vida criativa.	Nam e Pardo (2011)
Vivabilidade, governança, sustentabilidade, comunidade, produtividade	Uma cidade que melhora a qualidade de vida, incluindo componentes ecológicos, culturais, políticos, institucionais, sociais e econômicos, sem deixar um fardo para as gerações futuras.	Zhao (2011)
Tecnologia, acessibilidade, habitabilidade, governança	Uma cidade que utiliza as TICs para tornar os componentes e serviços críticos de infraestrutura de uma cidade - administração, educação, saúde, segurança pública, bens imóveis, transporte e serviços públicos - mais conscientes, interativos e eficientes.	Bélistent (2010)

Quadro 1 - Conceitos e temas de cidades inteligentes (conclusão)

Tema central	Definição	Referências
Comunidade, governança, tecnologia, capacidade de vida, produtividade	Uma ideia particular da comunidade local, onde governos municipais, empresas e moradores utilizam as TICs para reinventar e reforçar o papel da comunidade na nova economia de serviços, criar empregos localmente e melhorar a qualidade de vida da comunidade.	Eger (2009)
Produtividade, tecnologia, política	Uma cidade que aproveita as oportunidades oferecidas pelas TIC para aumentar a prosperidade local e a competitividade - uma abordagem que implica um desenvolvimento urbano integrado envolvendo perspectivas multiautorais, multissetoriais e multiníveis.	Paskaleva (2009)
Comunidade, habitabilidade, produtividade	Uma cidade que dá inspiração, compartilha cultura, conhecimento e vida, uma cidade que motiva seus habitantes a criar e florescer em suas próprias vidas - é uma cidade admirada, uma embarcação para a inteligência, mas, em última instância, uma incubadora de espaços habilitados.	Rios (2008)
Comunidade, governança, acessibilidade, tecnologia, produtividade, política	Uma cidade com bom desempenho em termos de economia, pessoas, governança, mobilidade, meio ambiente e vida, construída sobre a combinação inteligente de dotes e atividades de cidadãos auto decisivos, independentes e conscientes.	Giffinger et al. (2007)
Tecnologia, comunidade, acessibilidade, habitabilidade	Uma cidade que adota ativamente novas tecnologias buscando ser uma sociedade mais aberta, onde a tecnologia torna mais fácil para as pessoas ter uma palavra a dizer, ter acesso aos serviços e estar em contato com o que está acontecendo ao seu redor, de forma simples e barata.	Partridge (2004)
Tecnologia, produtividade	Uma cidade que capitaliza as oportunidades apresentadas pelas TICs na promoção de sua prosperidade e influência.	Odendaal (2003)
Política, governança, acessibilidade, habitabilidade	Uma cidade que monitora e integra as condições de todas as suas infraestruturas críticas, incluindo estradas, pontes, túneis, ferrovias, metrô, aeroportos, portos marítimos, comunicações, água, energia, mesmo grandes edifícios, pode otimizar melhor seus recursos, planejar suas atividades de manutenção preventiva e monitorar os aspectos de segurança enquanto maximiza os serviços aos seus cidadãos.	Bowerman et al. (2000)
Sustentabilidade, tecnologia, governança	Um centro urbano do futuro, seguro, ecológico e eficiente porque todas as estruturas - seja para energia, água, transporte etc. - são projetadas, construídas e mantidas utilizando materiais avançados e integrados, sensores, eletrônica e redes que são interligadas com sistemas computadorizados compostos de bancos de dados, rastreamento e algoritmos de tomada de decisão.	Hall et al. (2000)

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Com a popularização do termo *smart cities* e acordos de sustentabilidade globais comprometidos com a redução dos impactos ambientais, os países passaram a ver o conceito das cidades inteligentes como alternativas locais para alcançar suas metas a nível nacional. Esse fator, combinado com a ampliação e intensificação das pesquisas acadêmicas e o desenvolvimento e potencial adoção de tecnologias pelos centros urbanos proporcionou a ramificação de termos e a superposição ou complementariedade de conceitos relacionados com o de cidades inteligentes entre os anos 1999 e 2016, conforme exibido no *Quadro 2*.

Quadro 2 - Superposição de termos

Termo	Definição	Referências
<i>Resilient Cities</i>	Este termo ressalta a capacidade das cidades de se adaptarem a desafios como mudanças climáticas, mudanças econômicas e questões sociais, garantindo sustentabilidade e habitabilidade a longo prazo.	Meerow et al. (2016)
<i>Wired city</i>	Versa sobre a instalação de cabeamento para conectividade da cidade. Entretanto não necessariamente remete ao <i>smartness</i> .	Hollands (2008)
<i>Virtual city</i>	Está focada nas representações e manifestações digitais das cidades.	Schuler (2002)
<i>Ubiquitous city</i>	É uma extensão do conceito de cidade digital. Esta definição evoluiu para cidade ubíqua: cidade ou região com tecnologia da informação ubíqua.	Anthopoulos e Fitsilis (2010)
<i>Intelligent city</i>	Trata-se de territórios com alta capacidade de aprendizagem e inovação, o que está embutido na criatividade de sua população, suas instituições de criação de conhecimento, e sua infraestrutura digital para comunicação e gestão do conhecimento.	Komninos (2006)
<i>Information city</i>	Ambientes digitais que coletam informações oficiais e não oficiais das comunidades locais e as disponibilizam ao público em portais virtuais.	Anthopoulos e Fitsilis (2010)
<i>Digital city</i>	É a reprodução ou representação abrangente, baseada na web, de vários aspectos ou funções de uma cidade real específica, aberta a leigos. A cidade digital tem várias dimensões: social, cultural, política, ideológica e teórica.	Couclelis (2004)
<i>Smart community</i>	Uma área geográfica que varia em tamanho de bairro a uma região de vários países cujos moradores, organizações e instituições governantes estão usando a tecnologia da informação para transformar sua região de maneira significativa. Prioriza a cooperação entre o governo, a indústria, os educadores e os cidadãos.	Eger (2009)
<i>Knowledge city</i>	Visa o desenvolvimento baseado no conhecimento, incentivando a contínua criação, compartilhamento, avaliação, renovação e atualização do conhecimento. Tal estado pode ser alcançado através da interação contínua os cidadãos s. A cultura dos cidadãos, bem como o projeto apropriado da cidade e as infraestruturas prestam suporte a estas interações.	Ergazakis, Metaxiotis e Psarras (2004)
<i>Learning city</i>	Aquisição de conhecimento, habilidades e compreensão por indivíduos ao longo da vida, não apenas à escolaridade. Ao aprender, os indivíduos ganham melhores salários e oportunidades de emprego, enquanto a sociedade se beneficia por ter uma força de trabalho mais flexível e tecnologicamente atualizada.	Larsen (1999)
<i>Sustainable city</i>	Cidade sustentável usa tecnologia para reduzir as emissões de CO ₂ , para produzir energia eficiente, para melhorar a eficiência de suas construções. Seu principal objetivo é se tornar uma cidade verde (<i>green city</i>). Usa tecnologia para reduzir emissões de gás carbônico, produzir energia eficiente e melhorar a eficiência de prédios. Seu principal objetivo é tornar-se uma <i>green city</i> .	Batagan (2011)
<i>Green City</i>	Associada ao crescimento verde (<i>green growth</i>), paradigma que promove o desenvolvimento econômico enquanto reduz as emissões de gases de efeito estufa e a poluição, minimizando uso ineficiente dos recursos naturais e promovendo a biodiversidade.	OECD (2010)
<i>Connected Cities</i>	Refere-se a cidades que aproveitam a conectividade, geralmente por meio da Internet das Coisas (IoT), para aprimorar os serviços e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.	Caragliu et al. (2011)
<i>Eco-cities</i>	Concentra-se na sustentabilidade ecológica, integrando tecnologias e práticas verdes para criar ambientes urbanos ecologicamente corretos.	Newman e Jennings (2008)
<i>Future cities</i>	Engloba a visão de áreas urbanas projetadas com tecnologias inovadoras e práticas sustentáveis para atender às necessidades das gerações futuras.	Ratti e Claudel (2016)

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Portanto, embora a temática esteja sendo discutida desde a década de 90 (HOLLANDS, 2008) e já possua diretrizes normatizadas na ISO 37122:2019 – Desenvolvimento Sustentável em Comunidades: Indicadores de Cidades Inteligentes – alguns autores afirmam que a definição de *smart cities* ainda está em construção (KAUL; DESHPANDE; RAUT, 2023; KURU; ANSELL, 2020; NEIROTTI et al., 2014; OLADUNMOYE; OBAKIN, 2023; YIGITCANLAR; FOTH; KAMRUZZAMAN, 2019). Diante desse panorama, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) levantam a emergência da sustentabilidade nas cidades (ONU, 2015) e esforços de pesquisa estão sendo empregados no intuito de facilitar a construção de uma definição unificada para o conceito de *smart cities*. A problemática da falta de consenso extrapola os limites cognitivos e impacta no direcionamento adequado de recursos e esforços para a superação dos problemas das comunidades e ambientes urbanos (AHVENNIEMI et al., 2017; CASTAGNA; STRAUHS, 2024; KAUL; DESHPANDE; RAUT, 2023; OLADUNMOYE; OBAKIN, 2023).

Alguns pesquisadores percebem as *smart cities* prioritariamente como “fábricas para a vida” (HOREJSI; NOVIKOV; SIMON, 2020; NEIROTTI et al., 2014), ou seja, consideram que o uso das TIC permite um planejamento central e uma visão integrada dos processos que caracterizam as operações urbanas. Esta visão agrupa domínios que podem ser considerados “rígidos” e enfatiza aspectos tangíveis como produção e distribuição de energia, transporte e logística, gestão de resíduos e controle da poluição. Outras posições, ao invés, veem as formas de construir as cidades inteligentes como sendo mais baseadas em domínios “suaves”, onde a construção ocorre de forma holística no sentido de promover sustentabilidade econômica, social, ambiental (ANTHOPOULOS; JANSSEN; WEERAKKODY, 2023; DE BEM MACHADO et al., 2021; KUMAR, 2024; SENATORE; SESSA, 2023; SHEHAYEB et al., 2023; SIKANDAR; ALI; HASSAN, 2024; VOELZ et al., 2023). Essa perspectiva defende que os cidadãos tomem suas próprias decisões baseadas em dados. Com direcionamento voltado também a políticas de bem-estar e inclusão social, cultura e educação, essa abordagem enfatiza a importância dos investimentos nos domínios da vida urbana na qual as TICs desempenham um papel mais limitado. Em suma, há concordância de que uma cidade inteligente deve ser capaz de otimizar o uso e a exploração tanto de ativos tangíveis como infraestruturas de transporte, redes de distribuição de energia, recursos naturais, quanto intangíveis como capital humano, capital intelectual e capital organizacional nos órgãos da administração pública de uma cidade (OLADUNMOYE; OBAKIN, 2023a; SHARIFI et al., 2024). Em essência, as discussões acerca das cidades inteligentes podem ser resumidas em duas visões: uma abordagem “*hard*” mais tangível orientada às TICs e outra “*soft*” mais intangível orientada às

pessoas (AHVENNIEMI et al., 2017; SENATORE; SESSA, 2023). Partindo desse pressuposto, os domínios e subdomínios podem ser dispostos conforme o *Quadro 3*.

Quadro 3 – Domínios das cidades inteligentes

Visão	Domínio	Principais objetivos
Rígida “Hard”	Iluminação pública, recursos naturais e gestão da água	Gestão da iluminação pública e dos recursos naturais. Exploração de recursos renováveis, como calor, solar, refrigeração, água e energia eólica.
	Grades de energia	Redes automatizadas que empregam TIC para fornecer energia e permitir a troca de informações sobre consumo entre fornecedores e usuários, com o objetivo de reduzir custos e aumentar a confiabilidade e transparência dos sistemas de fornecimento de energia
	Gestão de resíduos	Aplicar inovações para gerenciar efetivamente os resíduos gerados por pessoas, empresas e serviços da cidade. Inclui coleta, disposição, reciclagem e recuperação de resíduos.
	Meio Ambiente	Usar a tecnologia para proteger e gerenciar melhor os recursos ambientais e infraestrutura relacionada, com o objetivo final de aumentar a sustentabilidade. Inclui o controle da poluição
	Transporte, mobilidade e logística	Otimizar a logística e o transporte em áreas urbanas, levando em conta as condições de tráfego e o consumo de energia. Proporcionar aos usuários informações dinâmicas e multimodais para a eficiência do tráfego e do transporte. Assegurar transporte público sustentável por meio de combustíveis ambientalmente amigáveis e sistemas de propulsão inovadores.
	Prédios de escritórios e residenciais	Adotando tecnologias construtivas sustentáveis para criar ambientes de vida e de trabalho com recursos reduzidos. Adaptar ou readequar estruturas existentes para ganhar eficiência energética e hídrica
	Saúde	Utilizar as TIC e a assistência remota para prevenir e diagnosticar doenças, e prestar o serviço de saúde. Proporcionar a todos os cidadãos o acesso a um sistema de saúde eficiente, caracterizado por instalações e serviços adequados
Suave “soft”	Segurança Pública	Ajudar as organizações públicas a proteger a integridade dos cidadãos e seus bens. Inclui o uso de TICs para alimentar os departamentos de bombeiros e policiais com informações em tempo real.
	Educação e cultura	Capitalização da política educacional do sistema, criando mais oportunidades para alunos e professores usando ferramentas de TIC. Promovendo eventos culturais e motivando a participação das pessoas. Gerenciando entretenimento, turismo e hospitalidade.
	Inclusão social e bem-estar	Disponibilizar ferramentas para reduzir as barreiras na aprendizagem e participação social, melhorando a qualidade de vida, especialmente para os idosos e deficientes. Implementar políticas sociais para atrair e reter pessoas talentosas
	Administração pública e (<i>e-</i>) <i>government</i>	Promover a administração pública digitalizada, os balanços eletrônicos e a transparência das atividades governamentais baseadas nas TIC, a fim de aumentar o empoderamento dos cidadãos e o envolvimento na gestão pública
	Economia	Facilitar a inovação, o empreendedorismo e a integração da cidade no mercado nacional e global

Fonte: adaptado de Neirotti et al. (2014).

Nesse sentido, o corpo de estudos no domínio *soft* tem focado no papel do capital humano na melhoria da qualidade de vida das cidades (GOLUBCHIKOV; THORNBUSH, 2022; SENATORE; SESSA, 2023). Como tal, as iniciativas de cidades inteligentes também podem incluir investimentos que visam fomentar a capacidade de aprendizagem e inovação de

uma cidade, apoiando e motivando a população local na educação e melhorando sua própria vida (SENATORE; SESSA, 2023). Dessa forma atrai e retém talentos altamente qualificados, proporcionando impacto econômico, cultural e contribuindo para a maior aderência aos conceitos de cidade inteligente, ou *smartness*, das cidades. Sendo assim, conceitos como *Smart Citizen e Smart Cities Citizen Centered* emergem como modelos conceituais que posicionam o cidadão no centro da transformação das cidades (GIELA, 2023; SIOKAS; TSAKANIKAS; SIOKAS, 2021) e constituem característica da geração 3.0 das cidades inteligentes, conforme elucidado no *Quadro 4*.

Quadro 4 – Gerações das *smart cities*

Geração	Propósito
<i>Smart City 1.0</i>	Impulsionar a inovação e fornecer soluções urbanas vantajosas, com foco na implementação de tecnologias.
<i>Smart City 2.0</i>	Utilizar a tecnologia de forma eficiente para estabelecer uma relação multidirecional entre as pessoas e o ambiente socioeconômico urbano.
<i>Smart City 3.0</i>	Combinar governança, regulamentos, políticas, avanços tecnológicos com a alta participação dos cidadãos com foco na melhoria de processos urbanos.

Fonte: adaptado de Siokas, Tsakanikas e Siokas (2021).

Diante da diversidade de conceitos e definições de cidades inteligentes, em consonância e convergência com o delineamento da pesquisa, o presente projeto acolhe como referência a multidimensionalidade da combinação das visões *hard* (infraestrutura e tecnologia) e *soft* (pessoas e processos) como fundamento teórico na construção de *smart cities*.

2.2.2 Tecnologias e uso de dados nas cidades

A palavra tecnologia tem a mesma raiz etimológica de “técnica” (*techné* + *logos* = *technelogos*), mas ela se diferencia por ser um fazer com raciocínio, com ciência, e não um simples saber fazer (SOFFNER, 2014). Se termo “*techné*” já foi utilizado na Grécia antiga por pensadores como Platão e esteve associado a arte, habilidade, ofício, trabalho manual ou mesmo astúcia (KELLY, 2010), na modernidade a tecnologia está vinculada ao processo de inovação sob a premissa de que o avanço tecnológico tem sido um poderoso instrumento do progresso humano (DUB, 2023; NELSON; WINTER, 1977). Ainda que esforços sejam empenhados na tentativa de definir o conceito, a busca por uma definição precisa está destinada ao fracasso porque a tecnologia não tem um significado único (JERATH, 2021; ROONEY, 1997). Mesmo sem consenso, Volti (2017 p. 29) propõe que “a tecnologia é um sistema criado pelo ser humano que utiliza o conhecimento e a organização para produzir objetos e técnicas para o alcance de

objetivos específicos” e esta definição é adotada no presente projeto. Diante disso, assume-se a teoria de que a tecnologia pode se manifestar em níveis distintos. Primeiro, há o nível de criação de objetos físicos ou artefatos, por exemplo, bicicletas, lâmpadas, hardwares. Em segundo lugar, tecnologia pode se referir a atividades ou processos, tais como fabricação ou moldagem de materiais. Terceiro, tecnologia pode se referir tanto ao que as pessoas sabem como ao que fazem, por exemplo, o "know-how" incorporado ao projeto de uma bicicleta ou a operação de um dispositivo (MACKENZIE; WAJCMAN, 1985).

Nessa direção, entende-se que uma cidade inteligente compreende a manifestação da tecnologia nos três níveis descritos. A *Figura 3* fornece uma visão multidimensional dos componentes habilitadores, e demonstra as camadas de hardware, tecnologias de informação e comunicação e aplicações enquanto conjunto de necessidades e pré-requisitos para que os cidadãos sejam impactados por meio das tecnologias no ambiente urbano. Em uma cidade inteligente, todos os componentes do ecossistema digital da cidade - composto de infraestrutura ágil e inteligente, sistemas de informação e comunicação e os cidadãos – devem estar aptos e colaborar, permitindo assim que novas classes de aplicações e ambientes colaborativos inteligentes possam nascer (KUMAR *et al.*, 2024).

Figura 3 – Exemplos de componentes habilitadores em camadas de pré-requisitos

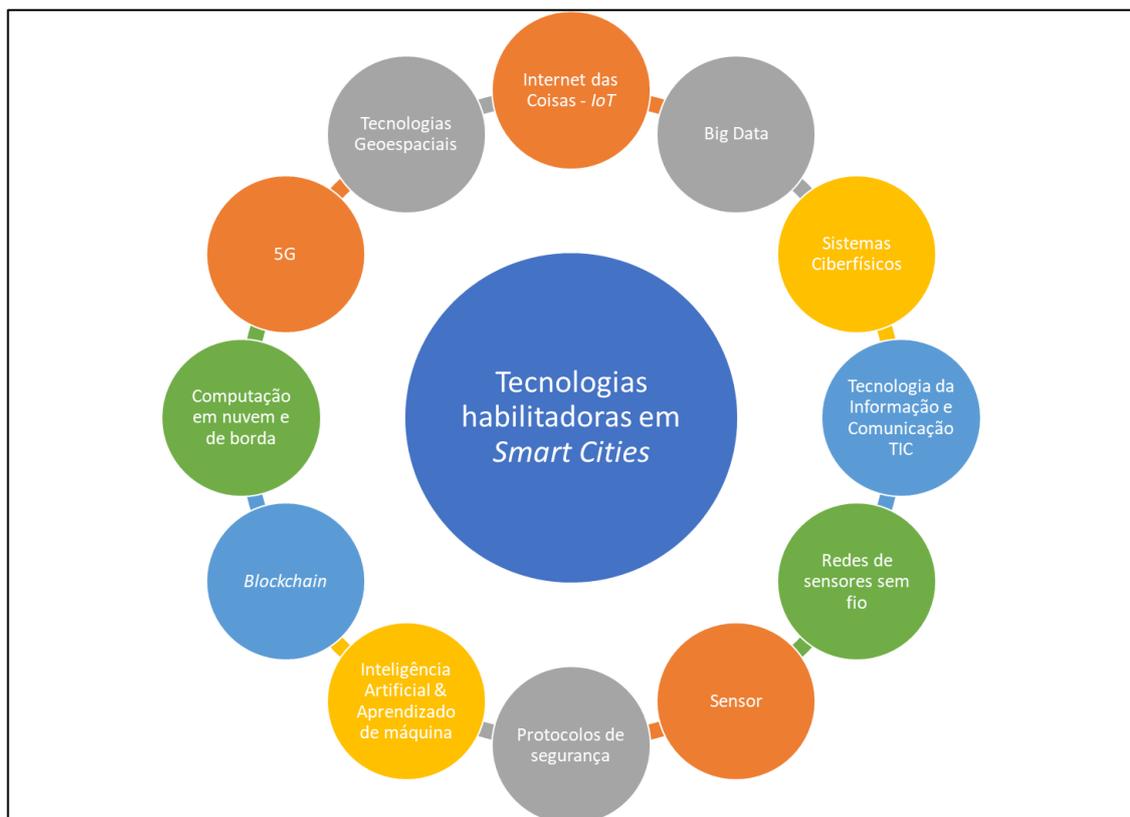


Fonte: elaborada pelo autor (2024).

Nesse sentido, os avanços tecnológicos mais recentes convergem para infraestruturas e tecnologias da informação e comunicação que se desdobram em Inteligência Artificial (IA),

Internet das Coisas (IoT), aprendizado de máquinas e *Machine Learning* (ML), *big data Analytics*, sensores e redes de sensores, entre outros (AHAD *et al.*, 2020; KOZARIK *et al.*, 2022; YAN *et al.*, 2023) conforme exibido na *Figura 4*. Essas tecnologias são denominadas habilitadoras pois apresentam potencial de impulsionar mudanças radicais no ambiente em que são empregadas (BIFULCO *et al.*, 2016; DUB, 2023; JERATH, 2021; KHELLADI; CASTELLANO; KALISZ, 2020), portanto, nesse projeto considera-se seu potencial no contexto de *smart cities*. A literatura que destaca o uso das TIC como chave para uma cidade inteligente é extensa, autores sugerem que as tecnologias aportam recursos para administrar os desafios urbanos e renovar a vida urbana, também provêm suporte para implantar infraestruturas eficientes e melhorias na qualidade de serviços (AHVENNIEMI *et al.*, 2017a; DHABLIYA *et al.*, 2023; DUB, 2023; HUI *et al.*, 2023; JERATH, 2021; KUMAR *et al.*, 2020b, 2024; NILAM NARAYAN DHAGE, 2023; SAUMIL B TRIVEDI; DR. ABHISHEK MEHTA, 2024a).

Figura 4 – Tecnologias habilitadoras em *smart cities*



Fonte: elaborada pelo autor (2024).

Diante do exposto, o presente projeto deverá utilizar diretamente a combinação de sensores, dispositivos IoT, Protocolos de Segurança, Big Data, Tecnologias Geoespaciais e eventualmente poderá utilizar parte desta gama de tecnologias habilitadoras indiretamente.

Portanto, o *Quadro 5* apresenta de forma resumida alguns aspectos das tecnologias habilitadoras.

Quadro 5 – Tecnologias habilitadoras

Tecnologias	Características	Referências
Internet das Coisas - <i>Internet of Things</i> (IoT)	Dispositivos físicos individuais conectados uns com os outros, com grupos maiores de objetos (por exemplo, edifícios), e com pessoas, de modo que operem em rede e sejam capazes de coletar e trocar dados.	Singh e Kumar, (2023), McDonald et al. (2018)
<i>Big Data Analytics</i>	Big Data é o conjunto de métodos e meios de processamento de diferentes tipos de dados dinâmicos estruturados e não estruturados para sua análise e uso para apoio à decisão.	Wang (2023), Shakhovska et al. (2018)
Sistemas Ciberfísicos	Cyber-Physical Systems (CPS) é uma integração de computação com processos físicos cujo comportamento é definido tanto pela parte virtual quanto pela parte física do sistema. Onde computadores e redes monitoram e controlam os processos físicos, com laços de feedback onde os processos físicos afetam cálculos e vice-versa.	Golubchikov e Thornbush, (2022), Lee e Seshia (2017)
Tecnologias da informação e comunicação	Conjunto de software e hardware que desempenham as funções de criação, armazenamento, processamento, segurança e entrega de informações.	Trivedi et al. (2024), Ziemba (2019)
Redes de sensores sem fio	É uma tecnologia de rede que pode conectar múltiplos sensores ou nós que são fundamentalmente limitados em recursos, mas podem se conectar a outros nós da rede para transmitir dados detectados.	Shahraki et al. (2020)
Sensores	Componentes com capacidade sensitiva às condições físicas e que podem transmitir esta informação. Seu objetivo principal é coletar os dados de um fenômeno (como temperatura, pressão, umidade, tensão etc.) do entorno ou um evento.	Ahad et al. (2020)
Protocolos de segurança	São programas curtos compostos de várias etapas que ao serem executadas, possibilitam aos usuários confirmarem suas identidades uns aos outros. Portanto, sua tarefa é garantir um nível adequado de segurança ao proteger a operação e a comunicação.	Szymoniak (2021)
Inteligência Artificial & Aprendizado de máquina	Inteligência não humana que, por meio de máquinas, permite o desempenho de funções e tarefas específicas realizadas por humanos. Aprendizado de máquina (<i>Machine Learning</i>) é o processo que melhora ou possibilita a aprendizagem automática com o estudo ou experiência e atua sem ser explicitamente programado.	Dwivedi et al. (2021), Praveen Kumar, Amgoth Annavarapu (2019)
Blockchain	Blockchain é uma tecnologia que funciona como um banco de dados de registros compartilhados imutável, descentralizado e disponível ao público. Funciona como um "livro-razão" onde todas as transações são registradas e qualquer pessoa no sistema tem permissão para acessar, enviar e verificar essas transações.	Xie et al. (2019)
Computação em nuvem e de borda	A computação em nuvem é um modelo de entrega baseado na infraestrutura da Internet, computação e armazenamento. A computação de borda é um paradigma de computação caracterizado principalmente por sua operação geograficamente distribuída que migra o consumo de recursos computacionais, tais como potência computacional, dados e aplicações, da nuvem remota para a borda da rede, e assim permite numerosos serviços urbanos inteligentes em tempo real.	Guelzim e Obaidat (2016), Khan et al. (2020)
5G	Nova geração de tecnologia de telecomunicações móveis sem fio. Evolução é caracterizada pela garantia de continuidade, maior taxa de dados, menor latência, conexões simultâneas massivas e ubiquidade da rede de telecomunicações que poderá ser implantada mundialmente.	Guevara e Cheein (2020)
Tecnologias geoespaciais	Serviços de localização precisos para navegação inteligente, rastreamento, transporte e outros processos.	Ahad et al. (2020)

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Nesse cenário, pesquisas multidisciplinares que utilizam das TICs para prover soluções aplicadas no contexto de cidades inteligentes, vem sendo desenvolvidas e podem ser citadas de forma exaustiva como exemplo de abrangência e transversalidade do uso das tecnologias. Pesquisadores tem publicado estudos voltados ao desenvolvimento de sensores vestíveis para detectar pontos de tensão com foco no avanço da mobilidade de idosos (LEE *et al.*, 2020); contagem e fluxo do tráfego de pedestres (CARTER *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2024); experiência de turismo e marketing das cidades (IVÁNYI; BÍRÓ-SZIGETI, 2019; KUSUMAWATI; RAHAYU, 2022); compartilhamento de dados epidemiológicos para combate pandêmico (CAI *et al.*, 2020); melhoria da segurança pública e redução dos custos por meio da iluminação pública (JIN *et al.*, 2016; SVECHKINA; TROP; PORTNOV, 2020); desenvolvimento de eco inovações (BERETTA, 2018; DHABLIYA *et al.*, 2023); mídias sociais, sua influência na digitalização do governo e desenvolvimento estruturado de serviços inteligentes (BULLINGER *et al.*, 2017; DÍAZ-DÍAZ; PÉREZ-GONZÁLEZ, 2016; ECKERT; HÜSIG, 2022); plataformas digitais para pessoas com deficiência (KBAR; MIAN; ABIDI, 2017; ZHOU; LOIACONO; KORDZADEH, 2023); identificação de emoções no contexto de cidades (KUSUMAWATI; RAHAYU, 2022; STOJANOVSKI *et al.*, 2017); geração de energia durante a caminhada de pedestres (AL AHMAD; ALLATAIFEH, 2017; MANTASHLOO *et al.*, 2023); apoio à aprendizagem no contexto de cidades inteligentes (AL MAZROUEI; AL DEREI; BELKHOUCHE, 2018; DIMITROVA; NIKOLOV; GOSPODINOV, 2024); melhorias de eficiência em resgates de emergência (ALKHATIB; EL BARACHI; SHAALAN, 2019; PEIXOTO *et al.*, 2024); tomada de decisões com a participação de cidadãos (ALCAIDE MUÑOZ; RODRÍGUEZ BOLÍVAR, 2019; KUMAR, 2024), entre outros. Portanto, diante da versatilidade de temas nas quais as TICs são posicionadas, é possível crer na promessa de impulsionar os padrões de vida através de uma gestão eficaz e utilização de recursos escassos nas cidades, entretanto a indisponibilidade de conjuntos de dados e ambientes de teste do mundo real para avaliar modelos e técnicas projetadas retardam o progresso da pesquisa (BÜCH; ESCH, 2023; MALLAPURAM *et al.*, 2017a).

Para além disso, os dados divulgados de uma cidade inteligente protagonizam o desenvolvimento urbano pois alimentam um ecossistema animado composto por agentes que criam produtos e serviços inovadores (ABELLA; ORTIZ-DE-URBINA-CRIADO; DE-PABLOS-HEREDERO, 2017; BUI, 2024; RADZISZEWSKA, 2023). Nesse sentido, autores sustentam que cidades inteligentes devem oferecer uma variedade de dados públicos através de portais (BELANCHE; CASALÓ; ORÚS, 2016; SINGH; KUMAR, 2023). No entanto, faixas significativas de dados urbanos são inacessíveis para o público. Estudos tem argumentado que

os dados devem fazer parte de uma nova infraestrutura nacional como chave para construir o futuro do mundo urbano (HAWKEN; HAN; PETTIT, 2020; SAUMIL B TRIVEDI; DR. ABHISHEK MEHTA, 2024a). As fontes geradoras de dados podem ser divididas em três categorias: direcionadas, voluntárias e automatizadas. No caso das fontes direcionadas, os dados são gerados como formas tradicionais de vigilância, tendo a pessoa ou lugar como foco em sinergia com o olhar humano. Em contraponto, a categoria de geração de dados voluntárias são aqueles fornecidos pelos usuários, como no caso de comentários e fotos publicadas voluntariamente em mídias sociais por exemplo. E, por fim, a categoria de fonte de dados automatizada, onde os dados são gerados como uma função inerente e automática de um dispositivo ou sistema, como é o caso dos sensores e das redes de sensores, pois são utilizados para medir saídas específicas, como níveis de luz, umidade, temperatura, gás, resistividade elétrica, acústica, pressão do ar, movimento, velocidade, de forma automatizada sem intervenção humana permanente para que a coleta ocorra (KITCHIN, 2014; SARKER, 2022). Nesse contexto está situado o sensoriamento urbano, tido como um paradigma emergente, situado no escopo de Cidades Inteligentes, que combina a ubiquidade de tecnologias e de diferentes tipos de sensores para coletar dados que retratam diferentes aspectos da cidade (KOZARIK *et al.*, 2022; KUMAR *et al.*, 2024; ROLIM, 2016).

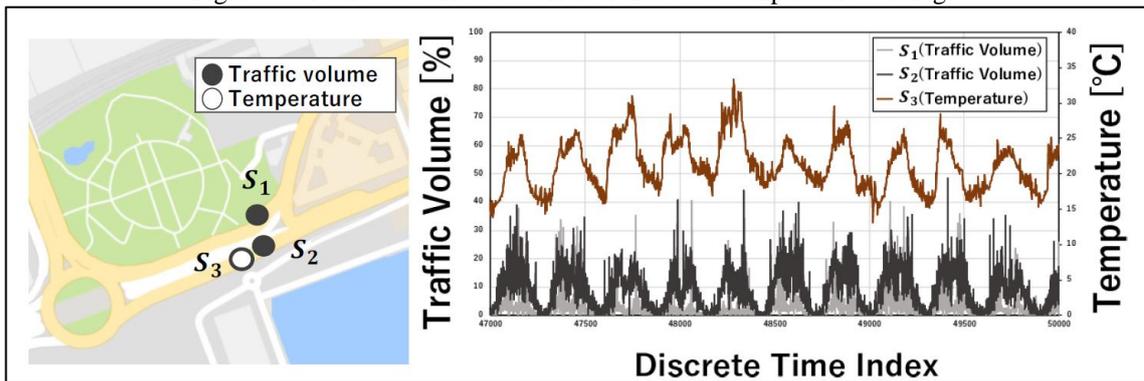
Nesse sentido, as cidades são sistemas complexos e dinâmicos que compreendem uma ampla gama de características físicas e ambientais, assim como componentes sociais e humanos (PORTUGALI, 2024; SAGL; RESCH; BLASCHKE, 2015). Outrossim, o amplo espectro de tecnologias disponíveis permite que tais características sejam quantificadas de forma abrangente e em detalhes. Estas incluem características intrinsecamente geográficas como as condições ambientais atuais tais como temperatura, qualidade do ar, umidade, luminosidade, pressão atmosférica, níveis de ruído etc. (KOZARIK *et al.*, 2022). Portanto, com um crescente interesse por dados e a necessidade de considerar diversos fatores ambientais no início dos processos de planejamento, torna-se mais importante disseminar esse tipo de informação para diferentes grupos-alvo de forma compreensível (WÄSTBERG; BILLGER; ADELFO, 2020).

Nesse contexto, os dados geográficos são amplamente padronizados e permitem que sejam mais utilizados e conectados (ABELLA; ORTIZ-DE-URBINA-CRIADO; DE-PABLOS-HEREDERO, 2017; PEIXOTO *et al.*, 2024). Portanto, os dados que combinam características espaciais e posicionamento geográfico podem ajudar o governo a tomar decisões mais transparentes e ajudar as comunidades a resolver desvantagens sociais, problemas ambientais e outros problemas econômicos e externalidades (IBRAHIM; M. ELGHAZALI, 2023; MARSAL-LLACUNA; COLOMER-LLINÀS; MELÉNDEZ-FRIGOLA, 2015;

MILLER; TOLLE, 2016). No domínio público, as redes de sensores urbanos são sistemas de dados intensivos que influenciam as decisões políticas e, portanto, as vidas dos residentes da cidade. Mesmo que apresente desafios relacionados à sustentabilidade das soluções devido ao consumo de energia, vida útil limitada da bateria dos dispositivos e ao volume de dados (SODHRO *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2022). Com eles, os atores governamentais locais podem tomar decisões sobre como e quais dados são coletados, como eles são combinados e analisados, e como as informações produzidas podem impactar a sociedade (ARSHI; MONDAL, 2023; VAN KLEUNEN; MULLER; VOIDA, 2021).

Nessa direção, estudos revelam que as correlações dos dados de sensores ajudam a analisar e entender as condições da dinâmica urbana. Seus estudos versam sobre a aplicação de uma técnica de mineração de dados denominada Padrão de Atributos Correlacionados (CAP) que consiste em explorar as relações entre os dados de sensores posicionados próximos uns aos outros, cujas medidas temporalmente coevoluem, ou seja, sofrem alteração de valores de forma simultânea, e possibilitam gerar conhecimento útil a partir dos dados coletados (SASAKI *et al.*, 2021). Como parte do estudo, a *Figura 5* exemplifica uma das correlações que é o resultado da coleta temporal do volume de tráfego e da variação da temperatura da cidade de Santander na Espanha e propõe materializar a relação passível de ser explorada com esse conjunto de dados utilizando-se dessa técnica.

Figura 5 – Padrão de atributos correlacionados de temperatura e tráfego



Fonte: Sasaki et al. (2021).

De forma complementar, autores apontam que o desafio das cidades inteligentes não é apenas construir frameworks genéricos à exemplo de modelo meteorológico baseado em temperatura e umidade ou modelos complexos sobre poluição sonora, tráfego etc., mas combinar dados para construir modelos preditivos contextos específicos (FAYDI; ZRELLI; EZZEDINE, 2023; SAUMIL B TRIVEDI; DR. ABHISHEK MEHTA, 2024). Este, por sua

vez, ajudará a entender a dinâmica da sociedade e poderá resultar em entrega de conhecimento aos cidadãos que serão municiados com mais recursos para sua tomada de decisões e, por conseguinte, poderão melhorar sua qualidade de vida. Portanto, enquanto lugares com dimensões espaciais constituídas por bairros, distritos e complexas infraestruturas físicas interligadas, as cidades têm muito a ganhar com a melhoria na compreensão de seus atributos geoespaciais e ambientais. Eles são o ponto de referência para um gama de tecnologias novas e disruptivas e serviços urbanos digitais, assim como empresas e serviços sociais ainda não imaginados (HAWKEN; HAN; PETTIT, 2020). Além disso, há oportunidades de utilizar-se do sensoriamento urbano, não somente como fonte de dados única, mas como mais uma fonte para conectar-se, integrar e analisar as informações produzidas por diferentes formas, para proporcionar uma compreensão mais coesa e inteligente da cidade mirando a eficiência e a sustentabilidade (ARSHI; MONDAL, 2023; HANCKE; DE SILVA, 2013; YANG *et al.*, 2022). Nessa direção, a pesquisa divulgada pelo IDC (2021) estima que a quantidade de dados digitais criados até 2025 será maior que o dobro da quantidade de dados criada desde o advento do armazenamento digital podendo chegar aos 175 zettabytes, sendo os dados advindos de dispositivos IoT o segmento de dados que apontará o crescimento mais rápido, seguido pelas mídias sociais. Ademais, o valor dos dados geoespaciais para a economia global foi estimado em U\$\$ 400 bilhões em receita global, economizando tempo e recursos das pessoas no valor estimado de \$550 bilhões de dólares, ainda que mais de 90% desses dados não estejam estruturados (AHMAD, 2023; HAWKEN; HAN; PETTIT, 2020).

Diante do seu crescente volume e importância, são debatidos problemas éticos e de legitimidade do uso de dados ao longo da cadeia de valor (AFFONSO SOUZA *et al.*, 2020a; YÜKSEKDAĞ, 2024). A ética dos dados é tida como um novo ramo da ética que estuda e avalia os problemas morais relacionados a dados. Estes incluem a geração, gravação, tratamento, processamento, disseminação, compartilhamento e uso. A área de estudo também versa sobre algoritmos convencionais ou oriundos de inteligência artificial, aprendizagem de máquinas, robôs e práticas correspondentes. Ainda abrange a inovação, programação, *hacking* e códigos profissionais, a fim de formular e apoiar soluções moralmente boas, ou seja, que zelem por boa condutas e valores (LÄHTEENOJA; KARHU, 2023; TADDEO; FLORIDI, 2016). Essa ética exige transparência, reciprocidade, diálogo, inclusão, autonomia, veracidade, proporcionalidade e responsabilidade de prevenir impactos negativos das cidades inteligentes (CALVO, 2020; GILMAN *et al.*, 2024).

Nesse sentido, desafios éticos e de legitimidade surgem em diferentes pontos desta cadeia e dependem dos processos ou aplicações concretas implementadas. Além disso, os

desafios de legitimidade que podem surgir com processos baseados em dados nas cidades inteligentes remetem aos propósitos e impactos desses processos. Como resposta aos problemas relacionados a legitimidade do uso de dados, autores propõe o empoderamento através da participação direta dos cidadãos no desenvolvimento de cidades inteligentes e no uso desses dados (BUI, 2024; KÖNIG, 2021a). Portanto, a análise multidimensional do impacto do uso de tecnologias e dados é necessária para mitigar dilemas éticos e o presente projeto assume que o caminho do uso de tecnologias e de dados nas cidades inteligentes requer a perspectiva do cidadão, não somente para legitimar o uso dos dados, mas para informar o cidadão e empoderar a sociedade no processo de tomada de decisão e construção do desenvolvimento urbano futuro.

2.3 CENTRALIDADE CIDADÃ E SATISFAÇÃO COM A VIDA NAS CIDADES

Para além do protagonismo tecnológico, estudos sugerem conduzir o desenvolvimento de uma cidade inteligente de forma que possibilite capitalizar também aspectos humanos para juntos, promover o desenvolvimento urbano (ANGELIDOU, 2015a; ANTHOPOULOS; JANSSEN; WEERAKKODY, 2023; KUMAR, 2024). Em uma cidade, tanto os problemas como as soluções propostas estão interligados e têm impacto em muitos grupos diferentes de interessados, incluindo a academia, setor público, setor privado e sociedade civil (DUB, 2023; MARRONE; HAMMERLE, 2018). A compreensão de um fenômeno como as cidades inteligentes também exige conhecimento não só dos artefatos técnicos e tecnológicos, mas também das influências contextuais, organizacionais, incluindo-se as influências humanas e como esses aspectos estão interligados (GIELA, 2023; HOLLANDS, 2008; SHEHAYEB *et al.*, 2023; SIKANDAR; ALI; HASSAN, 2024).

Nesse cenário, uma parte da vida desses cidadãos pode integrar uma organização maior, como uma empresa, uma instituição de pesquisa ou em um órgão governamental (KUSUMAWATI; RAHAYU, 2022; MARRONE; HAMMERLE, 2018; VOELZ *et al.*, 2023). Vide que o termo cidadania implica relações entre os cidadãos e o seu governo (KUSUMAWATI; RAHAYU, 2022; LEE; LEE, 2014) e geralmente se refere ao direito legal de pertencer a um país como um cidadão e aceitar responsabilidades de cidadania (MALEK; LIM; YIGITCANLAR, 2021). Numa visão de cidades inteligentes, os cidadãos podem ser vistos como principais beneficiários e usuários ativos dos serviços urbanos inteligentes (LEE; LEE, 2014; SHEHAYEB *et al.*, 2023). Para além disso, o conceito de cidade inteligente está intimamente ligado à promessa de utilizar os dados como um recurso para criar valor para os cidadãos (BUI, 2024; KÖNIG, 2021a). Nesse sentido, o governo deve liberar dados

governamentais não-confidenciais abertos para reutilização e consumo de terceiros e cidadãos, a fim de promover iniciativas inovadoras, conduzidas pelos cidadãos, para otimização de recursos e crescimento urbano sustentável (KUMAR et al., 2020). O *Quadro 6* revela alguns exemplos de formas de criação de valor nesse contexto.

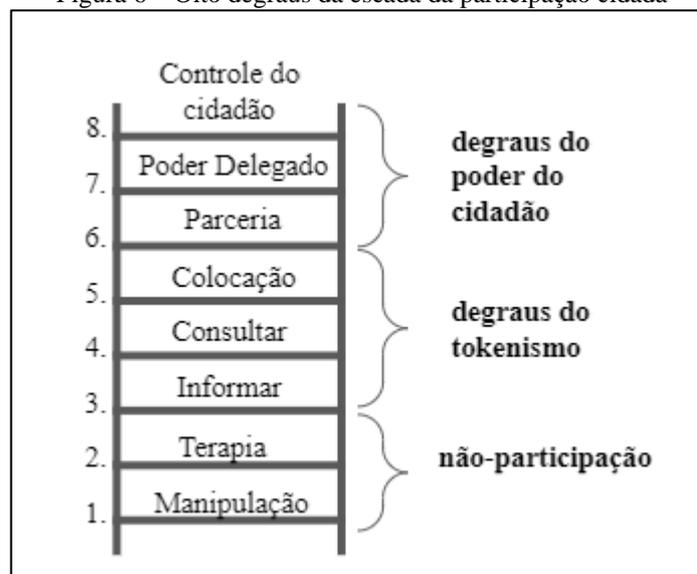
Quadro 6 – Ofertas de valor baseadas em dados aplicadas ao contexto de cidades inteligentes

Formas de criação e ofertas de valor	Exemplos no contexto da cidade inteligente
Comercialização e publicação de dados.	Vender dados a terceiros (privados, públicos, atores da sociedade civil), publicar dados abertos.
Otimização de processos e operações administrativas (inclusive com base em análises preditivas).	Automação de processos, melhor orientação e coordenação do tráfego, gestão de emergências, avaliações de risco e alocação de riscos e recursos (por exemplo, no policiamento preditivo), gestão de energia, resíduos inteligentes (por exemplo, roteamento otimizado e dinâmico), monitoramento ambiental (por exemplo qualidade do ar)
Insights analíticos de dados para decisões de planejamento e gerenciamento.	Decisões de zoneamento escolar, análise de desempenho e painéis urbanos para planejamento, previsão e simulações da cidade (por exemplo necessidades futuras de saúde e cuidados aos idosos).
Refinamento de dados para desenvolver novos serviços e produtos para uso do cidadão.	Sistemas de recomendação de cidadãos, aplicações de relatórios de cidadãos.
Relações com os cidadãos.	Ofertas de informação direcionada, software de relacionamento com clientes, robôs de atendimento.

Fonte: adaptado de König (2021).

A participação cidadã é poder cidadão (ARNSTEIN, 1969). Essa afirmação é parte de uma publicação realizada pelo autor em um estudo que propõe a categorização de formas e níveis de participação cidadã uma escada de oito degraus em três estágios conforme *Figura 6*.

Figura 6 – Oito degraus da escada da participação cidadã



Fonte: adaptado de Arnstein (1969).

Para fins ilustrativos, os oito tipos estão dispostos em um padrão de escada com cada degrau correspondendo à extensão do poder dos cidadãos na determinação do produto. Os degraus inferiores da escada são (1) Manipulação e (2) Terapia. Estes dois degraus descrevem os níveis de "não-participação" que têm sido utilizados como contorno para substituir a participação genuína. Seu verdadeiro objetivo não é permitir que as pessoas participem do planejamento ou da condução de programas, mas para permitir que os detentores de poder possam "educar" ou "curar" os participantes. Nos degraus 3 e 4 há o avanço para o "tokenismo" que permitem aos cidadãos ouvir e ter uma voz: (3) Informação e (4) Consideração. Quando são ofertados por detentores de poder como a extensão total da participação, os cidadãos podem realmente ouvir e serem ouvidos. Mas sob estas condições eles não têm meio de assegurar que suas opiniões serão acatadas pelos detentores de poder... (5) Colocação, é simplesmente um nível superior porque as regras básicas permitem não aconselhar, mas ainda não dar direito de decidir. Mais acima estão os níveis de poder do cidadão com aumento do poder de decisão. Cidadãos pode entrar em uma (6) parceria que lhes permita negociar e se envolver em negociação com os tradicionais detentores de poder. No topo da escala, (7) Delegados Poder e (8) Controle Cidadão, cidadãos podem obter a maioria dos assentos de tomada de decisão, ou de gestão plena do poder.

Segundo Cardullo e Kitchin (2019), embora tenha sido publicada em 1969, o modelo de Arnstein (1969) perdura, pois é utilizado como base de críticas e avanços devido à sua utilidade heurística para revelar até que ponto os cidadãos estão envolvidos na elaboração e participação quanto a forma de concepção e prestação de serviços. O modelo também é referenciado como base para expor os discursos políticos e de cidadania subjacentes. Sobre esse estudo, Cardullo e Kitchin (2019) agregaram novos pontos de vista e reflexões que criticam a ampla utilização do termo “centrado no cidadão” apontando para o fato de que as propostas de cidades inteligentes centradas no cidadão os veem como consumidores ou testadores, ou pessoas a serem dirigidas, controladas e incentivadas a agir de determinadas maneiras, ou como fontes de dados que podem ser transformadas em produtos. Portanto, criticam o modelo e inferem que os cidadãos inteligentes atuam dentro dos limites do comportamento esperado e aceitável, em vez de transgredir ou resistir às normas sociais e políticas, onde seu envolvimento expressa uma forma de cidadania neoliberal não fundamentada em direitos civis, sociais e políticos, ou na promoção do bem público ou comum, mas sim na autonomia individual (CARDULLO; KITCHIN, 2019a).

Em contrapartida, outros estudos apontam que soluções tecnológicas são recursos para cidades reagirem rapidamente às necessidades e superarem demandas dos cidadãos em ambientes de constante mudança (GALLOTTI; SACCO; DE DOMENICO, 2021; KUMAR et al., 2020; PAES et al., 2023). Nessa direção, as ideologias centradas no cidadão possuem a perspectiva "para o povo", como as autoridades que utilizam a tecnologia para atender às necessidades do povo, e "com o povo", que versa sobre o pensamento coletivo das autoridades, corporações tecnológicas e envolvimento do povo na resolução de questões urbanas. Combinando ambos os conceitos de cidades inteligentes centradas no cidadão, constitui-se o

entendimento básico do conceito centrado no cidadão em cidades inteligentes.

Ao assumir que o cidadão é o centro da vida da cidade, entende-se que o funcionamento social de um lugar está associado à interação e satisfação de seus cidadãos (FACHINELLI *et al.*, 2017; YU *et al.*, 2024). A satisfação com a vida é um componente cognitivo do bem-estar subjetivo, que se refere à avaliação geral das condições de vida de um indivíduo durante um período. Assim, dado que as cidades inteligentes podem satisfazer as necessidades de competência e relacionamento, o desenvolvimento de cidades inteligentes pode melhorar a satisfação de vida e o bem-estar emocional dos residentes (DA SILVA *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2020). As avaliações de satisfação podem ajudar a identificar mudanças e problemas, e fornecer orientação sobre aspectos que podem ser potencialmente melhorados, bem como aspectos com os quais os cidadãos estão satisfeitos. Ou seja, os residentes são agentes ativos na configuração da atratividade de um lugar, uma vez que são parceiros e coprodutores das políticas, dos bens e dos serviços públicos (VOELZ *et al.*, 2023; ZENKER; PETERSEN; AHOLT, 2013). Com efeito, os lugares dependem dos residentes para seu funcionamento econômico, social, cultural e ambiental. Assim, a busca por manter a população de um lugar satisfeita deve ser o principal objetivo da gestão de lugares (INSCH; FLOREK, 2008; XU *et al.*, 2024). Isso porque o elevado nível de satisfação dos residentes com seu lugar é um fator que atrai investimentos, compradores, turistas, visitantes, novos moradores e ainda gera um referencial externo de qualidade de vida (DE MEDEIROS; DA COSTA, 2016; ZHANG; LI, 2022). Nesse sentido, a provisão de acesso a dados é considerada crucial para o desenvolvimento econômico e social e uma vida de maior qualidade (AHMED; MAHMUDDIN; MAHAT, 2017; RADZISZEWSKA, 2023; SARKER, 2022).

Portanto, neste trabalho, assume-se que o cidadão é o elemento principal do *smartness* de uma cidade inteligente. Ele é o centro da vida na cidade e sua satisfação importa melhorias para o agrupamento urbano. Também se admite a tecnologia como instrumento catalisador para o aumento da satisfação do cidadão com a vida no contexto das cidades inteligentes. Uma vez que sua adoção esteja vinculada, de forma genuína e prioritária, a melhoria do ambiente urbano e ao subsídio de recursos para o cidadão enquanto tomador de decisão para si ou para o coletivo. Desta forma, a pesquisa apresenta a seguir as questões relativas aos procedimentos metodológicos adotados.

3 PROCEDIMENTOS MÉTODOLÓGICOS

O presente projeto de pesquisa está vinculado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio de uma modalidade de fomento denominada Doutorado Acadêmico para Inovação (DAI). Esta iniciativa do Governo Federal do Brasil busca fomentar a cooperação da academia com empresas por meio do envolvimento de pesquisadores em projetos de interesse do setor empresarial. Nesse sentido, além de uma tese escrita, o estudo pressupõe a entrega de um processo ou produto alinhado com a pesquisa, portanto revela a característica de pesquisa aplicada. Diante desta dinâmica, do rigor e da validade científica objetivados com o trabalho, o método denominado *Design Science Research* (DSR) foi considerado.

3.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH

No sentido de prover suporte metodológico com o rigor e a validade científica a uma pesquisa teórico-empírica, o DSR apresenta-se como uma alternativa. Pesquisas que se dedicam à construção de artefatos devem poder se sustentar como válidas cientificamente com uma abordagem metodológica rigorosa e apropriada. Devem também estar aptas a propor discussões das possibilidades de avanço, tanto do conhecimento geral, quanto do tecnológico (LACERDA *et al.*, 2013a). Nesse sentido, a DSR se constitui em um método orientado ao desenvolvimento com a missão de medir os impactos artefatos sobre o sistema composto (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2012a), portanto, oferece processo rigoroso voltado ao projeto e execução de artefatos para resolver problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos (ÇAĞDAŞ; STUBKJÆR, 2011). Em suma, o DSR se concentra na criação de artefatos que resolvem problemas do mundo real, validados por meio de evidências empíricas (ANTONY *et al.*, 2023).

Sua origem enquanto método tem base nas ciências do artificial. Diferente das ciências naturais que versam sobre um conjunto de conhecimentos sobre uma classe de objetos e/ou fenômenos do mundo (suas características, como se comportam e como interagem), as ciências do artificial dizem respeito a como as coisas devem ser para funcionar e atingir determinados objetivos. Em contraste com a tarefa das disciplinas científicas naturais de pesquisarem e ensinarem como as coisas são e como elas funcionam em seus fenômenos naturais (biologia, química, física) e sociais (economia, sociologia), as ciências do artificial se ocupam da concepção de artefatos que realizam objetivos (BIANCHINI, 2023; SIMON, 1996a). Ainda que

a relação entre elas possa parecer antagônica, elas se complementam em sentidos distintos: os artefatos não estão fora da natureza e não tem qualquer permissão para ignorar ou violar as leis naturais. Em sua construção conceitual, Simon (1996) conceitua artificial como algo que foi produzido ou inventado pelo homem, isso inclui equipamentos, sistemas, organizações, instituições, economia entre outros aspectos e instâncias. Nesse sentido, o autor postula que há muito mais de artificial do que natural no mundo em que vivemos. É nesse contexto que o autor manifesta a necessidade de criar uma abordagem científica rigorosa e validada que substancie e compreenda a construção de artefatos. Portanto, a *Design Science Research* é um método que operacionaliza a construção do conhecimento nesse contexto (CHAKRABARTI, 2010; DELPORT; VON SOLMS; GERBER, 2024). Diante do exposto, opta-se pelo uso do DSR como método no sentido de oferecer um caminho científico para responder o problema de pesquisa colocado e suportar com rigor e validade, as etapas acadêmicas e práticas inerentes ao projeto proposto.

Embora não esteja enquadrado de forma cartesiana nos pressupostos ontológicos das ciências tradicionais, o presente projeto adota uma visão ontológica inerente ao *Design Science*, ou seja, de múltiplas realidades, contextualmente situadas em estados de mundo alternativos por meio da interação entre a tecnologia e o social (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015; LACERDA *et al.*, 2013; MOUTINHO *et al.*, 2024). Além de permitir acolhimento das ciências do artificial, tal posicionamento ontológico está alinhado com as temáticas expressas na questão e objetivos de pesquisa propostos; tecnologia, ambiente e sociedade.

Do ponto de vista epistemológico, estudos focados em projeto, concepção ou na solução de problemas não podem se sustentar exclusivamente em paradigmas característicos das ciências naturais e sociais. Esta incapacidade ocorre principalmente porque os objetivos das ciências tradicionais são para explorar, descrever, explicar e, quando possível, prever (ANTONY *et al.*, 2023; ROMME, 2003; VAN AKEN, 2004). Entretanto, Simon (1996) questionou como gerar conhecimento sobre coisas que ainda não existem e até mesmo como projetar objetos ou sistemas que não existem. É neste contexto que a ciência do design ou *Design Science* (DS) é recomendada como um paradigma epistemológico que pode orientar pesquisas que objetivam a solução de problemas e o desenvolvimento de artefatos (HEVNER *et al.*, 2024; ROMME, 2003; SIMON, 1996a; VAN AKEN, 2004). Nessa perspectiva, entender um problema muitas vezes não é suficiente para resolvê-lo; assim, o estudo e o desenvolvimento de uma ciência, focados na solução de problemas reais e na criação de artefatos que possam contribuir para melhorar os sistemas existentes ou mesmo novos sistemas, são essenciais (HEVNER *et al.*, 2024; VAN AKEN, 2004).

Nesse sentido o conhecimento pode ser construído a partir da interação entre o observador e o objeto de estudo considerando conhecimento mais como um projeto construído do que como um determinado objeto (LE MOIGNE, 1994). Uma ciência que visa prescrever uma solução pode ajudar a reduzir lacunas entre a teoria e a prática. Assim, a pesquisa que resulta em uma prescrição usualmente possui fácil aplicação, inclusive pelos profissionais de organizações, e pode promover o reconhecimento de sua relevância para o campo prático (HEVNER *et al.*, 2024; VAN AKEN, 2004). Portanto pode-se afirmar que

[...] as suposições metafísicas da pesquisa científica em design são únicas. Primeiro, nenhuma ontologia, epistemologia ou axiologia do paradigma é derivável de qualquer outro paradigma. Em segundo lugar, os pontos de vista ontológicos e epistemológicos mudam na pesquisa científica em design à medida que a pesquisa avança através do ciclo de pesquisa científica em design. Esta iteração é semelhante, mas mais radical do que os processos hermenêuticos usados em algumas pesquisas interpretativas (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2012a).

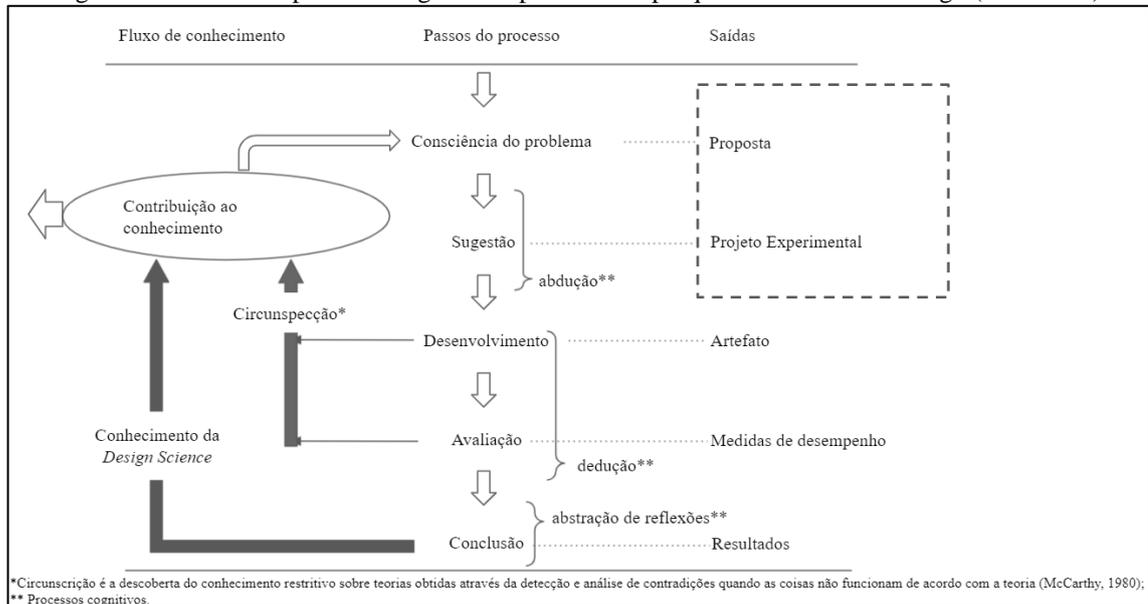
Diante desse contexto o projeto assume o posicionamento epistemológico no qual conhecimentos emergem da ação humana, construída dentro de um contexto específico em que definições iterativas revelam significados e sua axiologia reflete controle, criação, melhoria e compreensão (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2012a).

3.1.1 Modelo do processo de DSR

A prática de DSR pressupõe algumas diretrizes que devem ser criteriosamente observadas (HEVNER *et al.*, 2004, 2024): (i) *design* como um artefato: objeto de estudo deve ser um artefato; (ii) relevância do problema: problema abordado pelo artefato deve ser importante e relevante; (iii) avaliação do *design*: avaliação da utilidade, qualidade e eficácia do artefato demonstrada rigorosamente; (iv) contribuições de pesquisa: contribuições claras e verificáveis na área de conhecimento do artefato, em termos de projeto, fundamentos e/ou metodologias; (v) rigor de pesquisa: pesquisa requer aplicação de métodos rigorosos; (vi) *design* como um processo de pesquisa: uso eficiente de meios e recursos para alcance dos fins, respeitando as leis no ambiente a que pertence o problema; (vii) comunicação de pesquisa: divulgação adequada dos resultados da pesquisa aos praticantes.

A *Figura 7* revela como procede o esforço típico da DSR. O modelo, desenvolvido pelo autor com base no modelo de *design* computacional desenvolvido por Takeda et al. (1990), elucidada como os passos do processo de pesquisa se relacionam com o fluxo de conhecimento e quais são as saídas e os processos cognitivos esperados em cada passo do processo.

Figura 7 – Modelo de processo cognitivo e processo de pesquisa científica em design (ciclo DSR)



Fonte: traduzido e adaptado de Vaishnavi, Kuechler e Petter (2012).

Dessa forma, o modelo associa o desenvolvimento e a aplicação do conhecimento e aponta um caminho processual para a execução da DSR nesta pesquisa. O modelo proposto por Vaishnavi, Kuechler e Petter (2012) é constituído por:

- consciência do problema: onde o pesquisador identifica novos desenvolvimentos ou problemas que revelam oportunidade de solução em oposição a perguntas ou problemas que são respondidos de forma explicativa. O resultado dessa etapa é uma proposta para um novo esforço de pesquisa;
- sugestão: é um passo criativo no qual se vislumbra uma nova funcionalidade baseada em uma nova configuração de elementos existentes ou novos e existentes. Isso ocorre por meio de inclusão de projetos experimentais ou protótipos na proposta formal. Nesse sentido, sua saída está intimamente ligada com a proposta da etapa anterior (isso justifica a linha pontilhada que circunda as saídas na Figura 7). Além disso, se depois de investir um esforço considerável em um problema, um protótipo, projeto experimental ou pelo menos resquícios de uma ideia para a solução do problema não se apresentar ao pesquisador, a proposta será posta de lado;
- desenvolvimento: o projeto experimental é mais desenvolvido e implementado nessa fase. Os artefatos resultantes podem ser teoria de design, conceitos, modelos, métodos ou instanciações. Suas técnicas de implementação irão variar em acordo com o artefato a ser criado. A implantação em si não precisa envolver novidade

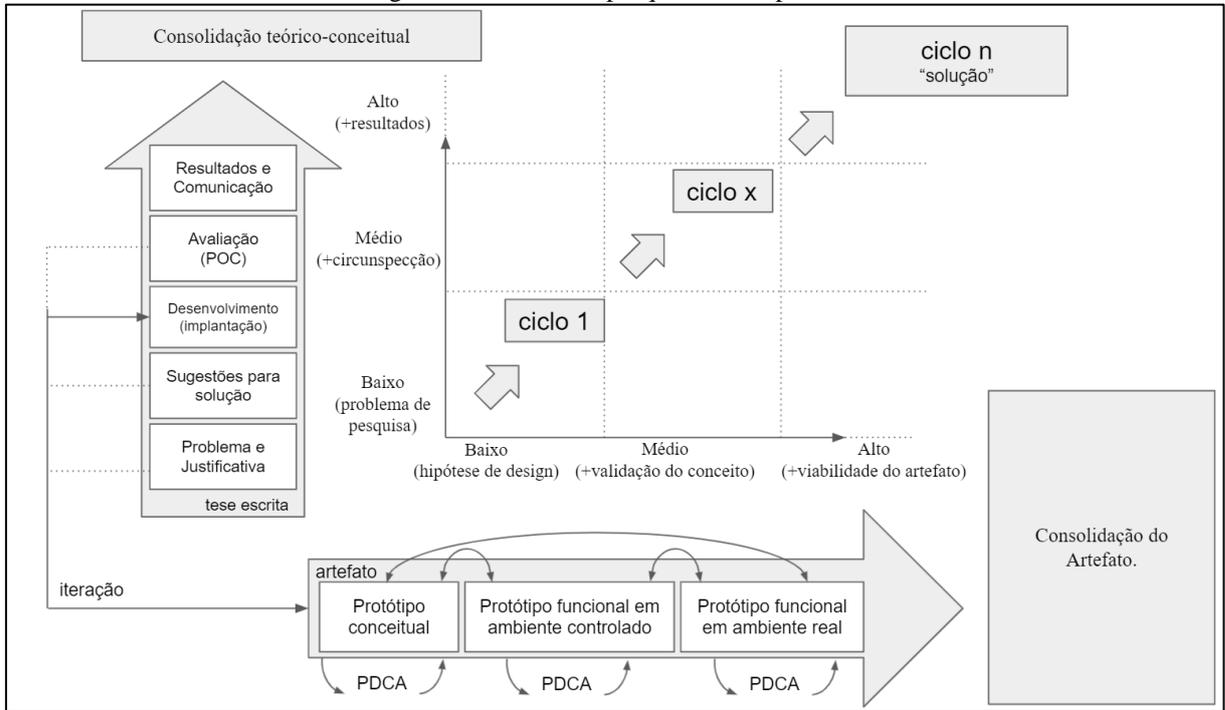
- pois esse critério deve estar associado ao projeto e não a construção do artefato;
- d) avaliação: o artefato é avaliado em acordo com critérios implícitos e com critérios frequentemente explícitos na proposta realizada na fase de conscientização do problema. Desvios das expectativas de qualquer natureza devem ser observados e explicados. Essa etapa revela o contraste da postura positivista, pois pesquisas desenvolvidas com o uso do método DSR raramente confirmam hipóteses iniciais. Nesse sentido, os resultados da fase de avaliação e as informações adicionais obtidas na construção e no funcionamento do artefato são reunidas e alimentam em outra rodada de sugestões, conforme denominado “circunspecção” na Figura 7;
- e) conclusão: Esta fase pode ser apenas o final de um ciclo de pesquisa ou é o final de um esforço de pesquisa específico. Para estabelecer o final de um esforço de pesquisa os resultados devem ser julgados como suficientemente bons, ou seja, o resultado é satisfatório embora ainda possam existir desvios no comportamento do artefato em relação às previsões hipotéticas. Os resultados são escritos e o conhecimento aportado pela pesquisa pode possuir aspectos distintos, ou seja, pode ser classificado como consistente ou pode revelar “pontas soltas”. Dependendo do tipo de contribuição de conhecimento e do estado do conhecimento na área de pesquisa, as expectativas sobre a natureza e profundidade dos resultados da contribuição de conhecimento podem variar. A seta para a esquerda posicionada ao lado do item “contribuição ao conhecimento” expresso na Figura 7, sinaliza essa dinâmica.

3.2 A JORNADA DE APLICAÇÃO DO MÉTODO

Esta seção descreve os ciclos de projeto e desenvolvimento realizados, que, iterativamente, permitiram aprofundar a visão do problema e sua solução. Portanto, a *Figura 8* revela o processo que representa o fluxo e etapas da presente pesquisa com base no modelo proposto por Vaishnavi, Kuechler e Petter (2012). Nele, cada ciclo da pesquisa promoveu avanço na direção da consolidação teórico-conceitual e, simultaneamente, evoluiu o artefato na direção da solução do problema de pesquisa. Nesse sentido, em cada ciclo iterativo e, com base no problema de pesquisa, nos objetivos, e nos requisitos gerados no primeiro ciclo, foram geradas sugestões para solução. A partir disso foi definido o escopo para o desenvolvimento de um protótipo. O protótipo teve a missão de prover uma solução viável ao problema e foi desenvolvido utilizando subciclos de planejamento, desenvolvimento, validação em bancada e

ajustes, sinalizado como PDCA (*Plan, Do, Check and Act*).

Figura 8 – Modelo de pesquisa DSR aplicado



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Nesse sentido, o presente projeto teve como ponto de partida uma questão de pesquisa e objetivos. Portanto, desde seu primeiro ciclo, a pesquisa empenhou esforços no detalhamento de requisitos, critérios de avaliação e seus respectivos conceitos técnicos que contribuíram com fundamentos para os ciclos posteriores. Conforme previsto, foi percebido um baixo nível de consolidação tecnológica e de conhecimento nos primeiros ciclos, entretanto já foi possível obter um protótipo conceitual relacionado ao problema de pesquisa.

Seguindo esse fluxo, em cada ciclo, cada ajuste e incremento do protótipo foi submetido a um processo de validação que gerou novos ciclos até as sucessivas iterações satisfizerem os requisitos de viabilidade para assumir o encerramento da prova de conceito (*Proof Of Concept*) ou POC. Essa avaliação criteriosa do protótipo, no intuito de validar se sua contribuição atende satisfatoriamente os requisitos propostos e se o problema foi solucionado, gerou conhecimento não somente no final do esforço da pesquisa, mas também a cada ciclo realizado. Tal conhecimento contribuiu com as entregas imateriais tanto no espectro teórico-conceitual quanto na construção do artefato, que foi confrontado com a literatura e incorporada à presente pesquisa.

Cada prova de conceito realizada na pesquisa conferiu novas oportunidades de revisitar os problemas e os objetivos. Embora os inícios de novos ciclos tenham sido

necessários, a pesquisa não careceu de uma reestruturação intensa, portanto, assim que o problema foi solucionado satisfazendo os critérios propostos, a pesquisa seguiu o fluxo previsto em direção ao encerramento por meio da etapa de resultados e comunicação.

Nesse sentido, a representação evolutiva dos ciclos na diagonal do gráfico cartesiano revela o avanço de pesquisa realizado. Foram realizados doze ciclos para atingir a entrega final do esforço de pesquisa. A cada ciclo realizado, a consolidação do artefato e a construção do conhecimento avançaram de forma incremental. Com isso, a maturidade dos artefatos partiu de hipóteses de design e alcançam a viabilidade, enquanto a maturidade teórico-conceitual, que partiu do problema de pesquisa, chegou nos resultados.

3.2.1 Protocolo de pesquisa

O desenho do protocolo de pesquisa proposto foi concebido com base na recomendação indicada por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015) e está explícito na *Figura 9*.



Fonte: adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015).

O protocolo de pesquisa realizado, superou todas as etapas mapeadas. Ainda em fase de qualificação desta tese, foi realizada a identificação do problema que originou a questão de pesquisa. Após a qualificação, foram realizados ciclos iterativos que possibilitaram a conscientização do problema em consonância com a revisão da literatura, resultando na definição conceitual e identificação dos artefatos e na respectiva configuração de classes de problemas em que foram concebidos para atuar.

Para cumprir com o protocolo e ampliar a conscientização do problema, foram analisadas as possibilidades de uso das bases de dados que o município possui e sua convergência com o estudo. Após a avaliação dos dados públicos e da bibliografia disponível, o município de Caxias do Sul foi procurado e gentilmente cedeu ao pedido de disponibilizar uma base de dados de segurança pública contendo dados de crimes e incidentes ocorridos na cidade e suas respectivas datas e coordenadas geográficas.

O pesquisador escolheu esta base de dados pois ela permite o tratamento no conceito GIS² (*Geographic Information System*), ou seja, os incidentes mapeados dispõem de coordenadas geográficas, fato que possibilitou realizar a plotagem dos dados em mapas. Na mesma direção, a bibliografia aponta que a segurança pública é um dos aspectos fundamentais na perspectiva da satisfação do cidadão com a vida nas cidades. Ainda como subsídio utilizado para sustentar a escolha desta base como piloto para integrar a construção dos artefatos, também foram considerados estudos que sugerem potencial correlação entre variáveis ambientais e indicadores de criminalidade. A base de segurança pública também possui vínculo direto com a base de dados da satisfação dos cidadãos com a vida oriunda da pesquisa realizada pelo City Living Lab. Por último, no espectro das bases de dados secundárias, além dos dados de segurança pública, da satisfação do cidadão com a vida nas cidades, ainda foram selecionadas algumas variáveis do censo nacional para compor o protótipo e enriquecer o potencial de análise.

A partir disso, foram realizadas avaliações de cunho técnico e teórico quanto a seleção de variáveis e informações que o desenvolvimento de artefatos com o uso de sensores pode aportar para o conjunto de dados secundários selecionados. A partir da definição do escopo das bases secundárias, foi definida a lista de requisitos que balizou a construção dos artefatos. Com fundamento no escopo do trabalho e a matriz de requisitos constituídos, foram realizadas buscas nas bases de dados para a exploração das iniciativas científicas similares já realizadas que

² GIS, ou Sistema de Informações Geográficas, é uma tecnologia que permite a captura, armazenamento, análise e visualização de dados geográficos. Ele integra informações espaciais e tabulares, facilitando a tomada de decisões, planejamento urbano e gestão de recursos.

aportaram arcabouço teórico e prático para as decisões de projeto do artefato.

Na sequência e com o intuito de considerar aprofundar a dimensão acadêmica e de mercado, foram realizados benchmarkings presenciais internacionais com empresas, órgãos do governo, universidades e projetos europeus, além disso, o pesquisador participou de missões nacionais de intercâmbio em projetos nacionais, no sentido de explorar soluções convergentes ao projeto. O conhecimento resultante dessa exploração dos artefatos de mercado, principalmente sobre limitações tecnológicas e conceituais, caminhos de êxito e insucesso de outros projetos, foram considerados para a concepção do projeto dos artefatos.

Após análise, foi escolhido um fornecedor para atuar operacionalmente, em conjunto com o pesquisador, no desenvolvimento do primeiro artefato: dispositivo IoT de coleta dinâmica de dados ambientais. Como primeira atividade após os acordos comerciais, foi concebido um projeto conceitual que avançou para a etapa de planejamento.

Na etapa de planejamento foram desenhadas arquitetura do software e de hardware da solução. As tecnologias escolhidas foram incorporadas ao projeto e refletiram diretamente nos recursos de tempo e custos que foram empenhados para a constituição do protótipo. A etapa de planejamento resultou no projeto detalhado e refletiu em ajustes no cronograma.

A etapa de desenvolvimento do protótipo demandou o maior empenho em termo de recursos e envolvimento técnico-operacional, foi onde ocorreu a construção de fato dos entregáveis, passando pela aquisição de materiais, construção tecnológica de hardware e software e ciclos de testes dos dispositivos e funcionalidades, coleta de lições aprendidas, ajustes e validações em bancada e em campo com o protótipo desenvolvido. Nessa etapa houve dedicação por parte do pesquisador para atuar e intermediar a construção do artefato em áreas que extrapolam as ciências sociais e versam sobre múltiplas áreas do conhecimento, tais como eletrônica, ciências da computação, segurança da informação, direito, engenharias, matemática, entre outras. O encerramento desta etapa resultou na entrega de um dispositivo IoT dinâmico para sensoriamento ambiental georreferenciado e da infraestrutura, sistemas e interfaces necessárias à parametrização dos componentes do dispositivo, armazenamento e extração dos dados advindos da coleta.

Com o primeiro artefato desenvolvido, foi realizada a conferência de requisitos, e a avaliação em ambiente real, ou seja, o protótipo foi fixado em veículo automotor rodoviário e submetido à testes de coleta e transmissão dos dados. Foram testadas alterações nos parâmetros para verificar as funcionalidades de software e verificados os dados coletados. A partir desse ponto, os resultados da avaliação foram confrontados com os requisitos elencados na segunda etapa. Essa fase gerou conhecimento de limitações do estudo e um repositório multidisciplinar

de lições aprendidas inclusive na área de ciências da computação.

Após a validação do primeiro protótipo, outros dois dispositivos idênticos ao protótipo foram construídos, foi assinado um termo de cooperação junto a uma empresa de fretamento privada da Cidade de Caxias do Sul, e dois dispositivos foram instalados na parte externa de ônibus que trafegavam por rotas dinâmicas diurnas e noturnas na região de Caxias do Sul. O terceiro dispositivo apresentou falhas e foi remetido ao fornecedor que não conseguiu realizar o reparo, limitando a coleta a ser realizada com dois dispositivos. O tempo de coleta previsto era de seis meses, contudo, os outros dois protótipos também apresentaram falhas e deixaram de transmitir após o terceiro mês, obrigando a interrupção precoce do processo de coleta.

A característica de ciclos iterativos inerente a este protocolo conferiu a possibilidade de transitar entre as etapas anteriores sempre que foi necessário, seja no sucesso de uma ação tomada, no incremento ou decremento de um requisito, na revisitação da consciência do problema ou durante as fases técnicas, gerenciais ou teóricas da construção do primeiro artefato. Dessa forma o protocolo manteve o rigor acadêmico enquanto permitiu a flexibilidade necessária para projetos de natureza inovadora.

Quando da validação do primeiro artefato, iniciou-se a construção do segundo artefato. Passando pelas mesmas etapas do primeiro, porém com o objetivo de construir uma plataforma dinâmica que potencializasse a capacidade analítica com dados de diferentes bases, incrementando a plotagem em mapas, considerando técnicas de georreferenciamento e parâmetros temporais, unitários e características individuais de cada tipo de dado, incluindo a base de dados das variáveis advindas do protótipo IoT já desenvolvido.

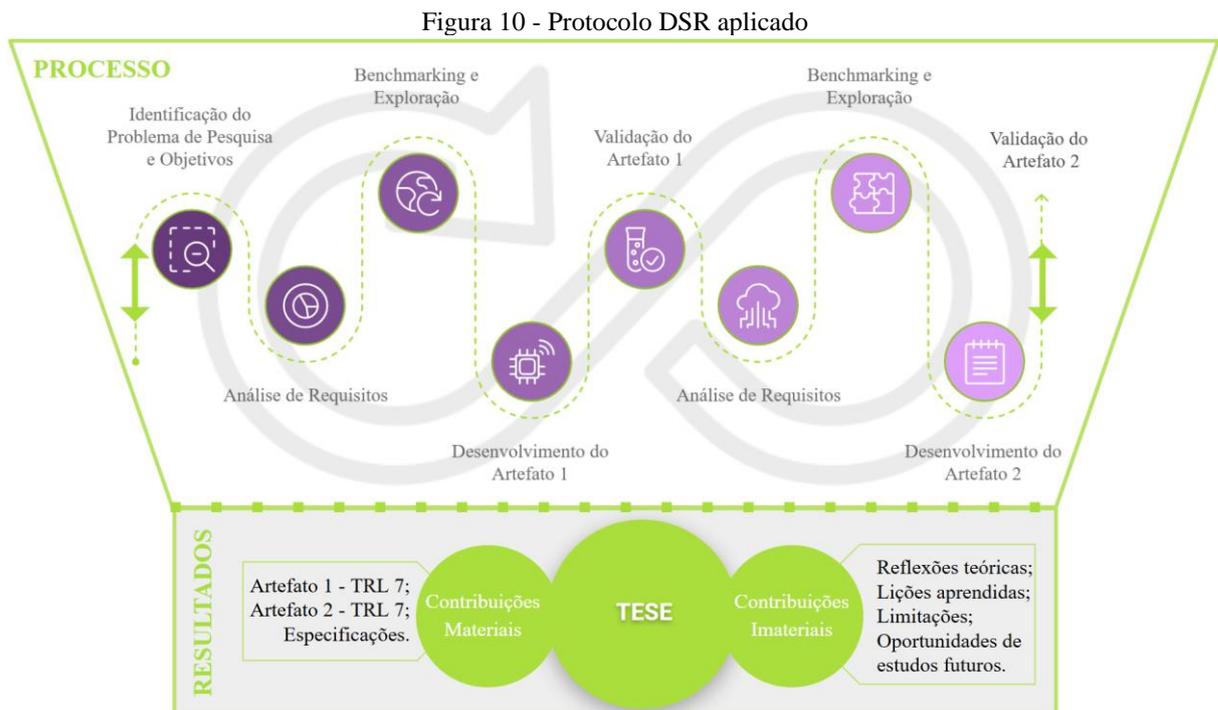
Com a conscientização desse desafio, foram detalhados os requisitos da plataforma, e desenhado um projeto conceitual. Após, foi realizado o detalhamento técnico-operacional do plano e os ajustes foram refletidos no cronograma, justificando a prorrogação do prazo de defesa dessa tese. Antes de iniciar a construção da plataforma foi realizada mais uma rodada de benchmarking presencial e remoto em projetos convergentes.

Na etapa de desenvolvimento do segundo artefato, o empenho nos ciclos de construção da plataforma foi equivalente ao destinado no desenvolvimento do primeiro artefato. Recursos e conhecimentos multidisciplinares foram necessários, inclusive com envolvimento de outro fornecedor, para a operacionalização dos requisitos levantados, uma vez que a entrega exigia domínio técnico aprofundado.

Ao longo da construção da plataforma, identificaram-se limitações tecnológicas em termos de tecnologia e alguns dos requisitos não puderam ser entregues, neste momento, optou-se por conceber uma plataforma adicional, com funcionalidades distintas, resultando

desenvolvimento de duas plataformas como segunda entrega de artefato para o projeto. Essa decisão protagonizada pelo pesquisador, distendeu novamente o prazo previsto para a entrega do projeto, entretanto, viabilizou o aumento dos graus de consolidação teóricos e do artefato, uma vez que possibilitou o atendimento a todos os requisitos listados, conseqüentemente ao atendimento de todos os objetivos delineados nesta pesquisa.

Após a desmobilização dos fornecedores, e encerramento do processo de desenvolvimento dos artefatos, as etapas seguintes tiveram caráter predominantemente descritivo e revelaram os resultados obtidos. Ainda com as limitações encontradas e as oportunidades de estudos futuros que o trabalho desenvolvido proporcionou, também foram simulados modelos de aplicação no intuito de provocar insights e buscar a generalização da classe de problemas que o artefato é capaz de solucionar. Conforme consolidado na *Figura 10*, o protocolo de pesquisa encerrou com a escrita e apresentação desta uma tese e a busca pela publicação de pelo menos um artigo científico contendo as devolutivas do estudo para a comunidade científica.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Com o encerramento da aplicação do protocolo metodológico, no capítulo seguinte, o trabalho apresenta seus resultados e contribuições.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A presente pesquisa, realizada com o fomento do edital CNPQ-DAI, resultou no desenvolvimento e avaliação de artefatos funcionais que coletam e integram dados ambientais e oriundos de bases de dados secundárias para a análise das dinâmicas urbanas em Caxias do Sul-RS com o intuito de subsidiar a formulação de políticas públicas no contexto *smart cities* centradas no cidadão.

Ao desenvolver e aplicar soluções inovadoras para problemas reais, com foco em gerar impacto social, econômico ou ambiental, a pesquisa atendeu ao requisito do órgão de fomento e apresentou contribuições de naturezas distintas que serão apresentadas em duas dimensões: material e imaterial. A contribuição material, se refere ao esforço de desenvolvimento de duas classes de artefatos técnicos da tese: os protótipos funcionais de dispositivos eletrônicos, que recebem o nome de artefato 1 e as plataformas digitais e derivados que recebem o nome de artefato 2, conforme *figura 11*.

Figura 11 – Contexto de desenvolvimento do Artefato 1 e Artefato 2



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Já as construções imateriais, versam sobre a construção de conhecimento de natureza técnica, social e científica, realizada durante o desenvolvimento da pesquisa. Portanto, a escolha do método e o rigor na sua aplicação foram fundamentais para consolidar a entrega e enriquecer as contribuições com a questão de como o desenvolvimento de um artefato tecnológico que integra dados ambientais e bases de dados secundárias pode contribuir para o entendimento das

dinâmicas urbanas em Caxias do Sul-RS, e preparar a cidade para futuras iniciativas de cidades inteligentes centradas no cidadão.

4.1 CICLOS ITERATIVOS DE DESENVOLVIMENTO

A estrutura metodológica da pesquisa iterativa utilizando DRS motivou o avanço em ciclos de desenvolvimento nas dimensões material e imaterial, simultaneamente. A cada repetição de ciclo, a pesquisa incrementou conhecimentos e evoluiu os Artefatos 1 e 2, respectivamente, até que os resultados proporcionaram atingir os objetivos delineados. Os objetivos específicos se relacionam diretamente com os artefatos 1 e 2 conforme o *Quadro 7*.

Quadro 7 - Relação dos objetivos com os artefatos

Objetivos específicos	Artefato
Criar e validar um protótipo de dispositivo IoT para captação dinâmica de dados ambientais por meio de sensores;	1
Estabelecer sistema e arquitetura para coletar, armazenar e disponibilizar os dados ambientais coletados com o uso do dispositivo IoT;	1
Agrupar e normalizar bases de dados que integram a plataforma;	1 e 2
Desenvolver uma interface que permita analisar dados coletados de sensores com dados de satisfação do cidadão e com bases de dados secundárias relacionadas à gestão urbana da cidade de Caxias do Sul;	2
Evidenciar potenciais aplicações dos artefatos desenvolvidos no contexto de <i>smart cities</i> centradas no cidadão.	1 e 2

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

No sentido de evidenciar os resultados angariados ao longo do processo de pesquisa, o *Quadro 8* consolida os ciclos de construção da pesquisa realizados e as suas respectivas contribuições para cada iteração do modelo até a finalização da construção dos artefatos.

Quadro 8 - Registro do processo de consolidação teórica e do artefato (continua)

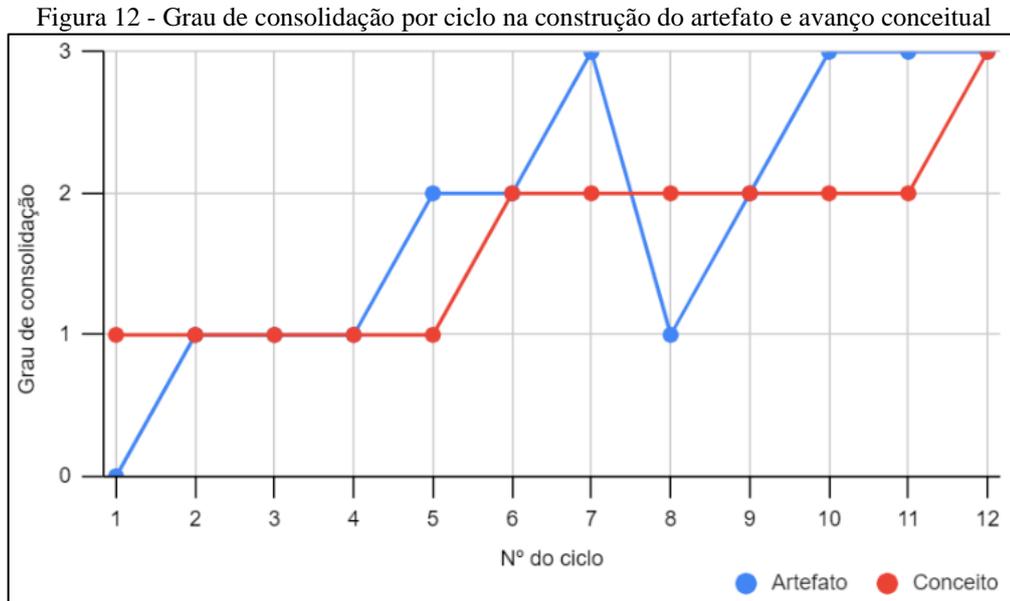
Ciclo	Etapa	Motivação	Contribuições materiais	Grau de consolidação do artefato	Contribuições Imateriais	Grau de consolidação teórico
1	Qualificação da tese, identificação do problema.	Homologar método, questão de pesquisa e objetivos	N/A	N/A	Arcabouço teórico-científico e conhecimento técnico introdutório.	Baixo (problema de pesquisa)
2	Conscientização do problema.	Aprofundar o problema de pesquisa junto aos atores e levantar bancos de dados secundários.	Banco de dados de segurança pública e base de dados de pesquisa da satisfação dos cidadãos com a vida nas cidades.	Baixo (Hipótese de design)	Conhecimento do contexto do uso de dados na cidade de Caxias do Sul, validação empírica do problema de pesquisa.	Baixo (problema de pesquisa)
3	Proposta e projeto do Artefato 1.	Detalhar requisitos para a concepção de dispositivo IoT para sensoriamento dinâmico. Definir fornecedores e critérios de avaliação do dispositivo.	Cotação firme, projeto técnico e conceitual e cronograma.	Baixo (Hipótese de design)	Conhecimentos teóricos de dispositivos IoT, sensores, comunicações, fontes de energia, invólucros e sensores e interação com fabricantes.	Baixo (problema de pesquisa)
4	Desenvolvimento do artefato 1.	Construir de protótipo inicial de dispositivo IoT.	Dispositivo Incipiente – MVP.	Baixo (Hipótese de design)	Conhecimentos práticos de dispositivos IoT, sensores, comunicações, fontes e consumos esperado de energia, invólucros, formas de fixação e sensores. Conhecimento teórico e prático de parâmetros de configuração de redes LoRaWAN, condições de uso e variação de comportamento em ambiente de bancada.	Baixo (problema de pesquisa)
5	Desenvolvimento do artefato 1.	Refinar protótipo e validar hipóteses técnicas de funcionamento em ambiente controlado.	Dispositivo IoT preliminar e banco de dados de coleta experimental em contexto controlado.	Médio (Validação do conceito)	Avaliação inicial de hipóteses técnicas com impacto em revisão de requisitos funcionais. Aporte de conhecimento e revisão de definições do Conhecimento de parâmetros de configuração específicos de redes LoRaWAN, condições de uso e variação de comportamento em ambiente controlado.	Baixo (problema de pesquisa)
6	Desenvolvimento do artefato 1.	Consolidar protótipo funcional do dispositivo IoT e validação de funcionamento em ambiente real.	Dispositivo IoT funcional e banco de dados de coleta experimental em ambiente real. Autorização formal de empresa privada para fixação do dispositivo em dois ônibus privados para coleta em de dados em caráter de teste.	Médio (Validação do conceito) / Alto (Viabilidade do Artefato)	Análise das bases de dados secundárias para fundamentar a seleção das rotas e ônibus adequados para realizar a coleta de dados pelos dispositivos IoT. Hipótese de pesquisa refutada, pivotagem do uso da rede de comunicação LoRaWAN para tecnologias GPRS. Assunção de funcionamento intermitente do dispositivo de coleta no que diz respeito aos sensores, principalmente nos de qualidade do ar.	Médio (circunspeção)
7	Avaliação e Validação do artefato 1.	Construir 3 dispositivos funcionais e ativá-los em ambiente real.	Dispositivos funcionais implantados em 2 ônibus de empresa privada de fretamento de Caxias do Sul coletando dados ambientais em tempo real. Base de dados real advindas de sensores sendo construídas. Descarte de um dos equipamentos falta de funcionamento.	Alto (Viabilidade do Artefato)	Conhecimento aprofundado de arquitetura de TIC para armazenamento de dados advindos dos dispositivos IoT e conhecimento para parametrização fina dos dispositivos implantados. Primeiros insights manuais de possibilidades de cruzamento de dados. Assunção de necessidade de generalização dos dados coletados por falta de ramificação de rotas durante o processo de coleta. Consciência de limitações e potenciais de uso do dispositivo em ambiente real. Interações e publicações com outros pesquisadores de IoT no contexto de <i>smart cities</i> .	Médio (circunspeção)

Quadro 8 - Registro do processo de consolidação teórica e do artefato (conclusão)

Ciclo	Etapa	Motivação	Contribuições materiais	Grau de consolidação do artefato	Contribuições Imateriais	Grau de consolidação teórico
8	Proposta e projeto do artefato 2.	Buscar referências, detalhar requisitos e desenhar projetos conceituais de plataformas para exibição e cruzamento das bases de dados advindos dos sensores e bases de dados secundárias.	Lista de requisitos e modelos semânticos.	Baixo (Hipótese de design)	Vivência em campo com conhecimento aprofundado de projetos locais, regionais, nacionais e internacionais. Participação em eventos, simpósios, feiras. Visitas a fábricas de hardware e software, visitas técnicas a prefeituras, universidades e parques tecnológicos nacionais e internacionais. Aprofundamento em outras Pesquisas acadêmicas e projetos científicos.	Médio (circunspeção)
9	Desenvolvimento do artefato 2.	Desenvolver uma plataforma com base tecnológica de mercado, que integre diferentes bases e permita exibição e cruzamento dos dados considerando o recorte por bairro e a possibilidade de interoperabilidade com os portais municipais.	Plataforma incipiente, com funções limitadas. Arquitetura de TIC implementada com infraestrutura de nuvem funcional. Parametrizações, códigos, integrações desenvolvidas e bases de dados parcialmente carregadas.	Médio (Validação do conceito)	Aprofundamento de conhecimentos inerentes às soluções tecnológicas de <i>Geographic Information System (GIS)</i> utilizadas em Caxias do Sul e busca de tecnologias adequadas para o projeto, benchmarking com outras plataformas com exploração nos modelos de exibição, filtros, modos de plotagem de informações, funcionalidades e aspectos de usabilidade, exportação de dados, conversão de geocoordenadas em poligonais e tratamento de dados por camadas.	Médio (circunspeção)
10	Desenvolvimento do artefato 2.	Ajustar os aspectos funcionais da plataforma, aprimorar a usabilidade, limpar, tratar e carregar a totalidade das bases de dados, permitir aplicações de filtros, exportação de dados e o consumo dos dados públicos da plataforma disponível pela prefeitura de Caxias do Sul, aumentar a variedade de gráficos e possibilitar a dispersão dos resultados com camadas sobrepostas mantendo a legibilidade.	Plataforma funcional com os ajustes incorporados, com grande parte das funções e bases de dados carregadas e disponíveis.	Alto (Viabilidade do Artefato)	Experiências práticas com o manuseio de dados e com o uso da plataforma, proporcionando os primeiros ensaios e experimentos de cruzamentos de dados. Evidências de limitações técnicas da plataforma e da tecnologia em uso. Decisão por construir plataforma complementar.	Médio (circunspeção)
11	Desenvolvimento do artefato 2.	Desenvolver plataforma complementar para demonstrar soluções de contorno às limitações impostas na arquitetura escolhida anteriormente. Utilizar linguagens de programação amplamente adotadas e banco de dados de mercado.	Plataforma complementar implantada e funcional com o complemento das funcionalidades incorporadas e aptas ao uso.	Alto (Viabilidade do Artefato)	Experiência acentuada no uso da plataforma, conhecimentos em aplicações de conceitos de desenho orientado à experiência do usuário (design UX) e validação dos requisitos técnicos levantados.	Médio (circunspeção)
12	Avaliação e Validação do artefato 2.	Publicar a plataforma e consumir seus recursos em ambiente de produção.	Plataformas acessíveis por meio de links publicados, consumindo as bases de dados definidas e operando as funções estabelecidas, atendendo aos requisitos propostos.	Alto (Viabilidade do Artefato)	Alcance de parte dos objetivos da pesquisa. Percepções de limitações dos artefatos e do estudo.	Alto (Resultados)

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Para elucidar graficamente o avanço da consolidação teórico-conceitual, a *Figura 12* apresenta um gráfico que revela o status do processo em cada ciclo, tanto relacionado ao artefato, quanto ao conceito. O eixo Y representa o número 1 como baixo, 2 como médio e 3 como alto.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

4.2 ARTEFATO 1 – DISPOSITIVO IOT

O desenvolvimento do protótipo de dispositivo IoT para captação dinâmica de dados ambientais georreferenciados por meio de sensores, iniciou pela definição de requisitos técnicos funcionais convergentes com o delineamento da pesquisa. O delineamento dos requisitos foi inspirado nos objetivos da pesquisa. A escolha das variáveis de coleta dos sensores, do hardware de coleta e dos demais requisitos listados foram motivados pela ampla disponibilidade dos itens no mercado, preço adequados ao orçamento do projeto, convergência das variáveis de coleta com a escala da pesquisa da satisfação do cidadão com a vida nas cidades, potencial reutilização dos dados para outras finalidades públicas e científicas e pela urgência e falta de informações ambientais georreferenciadas na cidade de Caxias do Sul.

O artefato foi concebido e desenvolvido pelo pesquisador em conjunto com empresa terceira contratada para essa finalidade e apresentou nove requisitos funcionais. Parte dos requisitos foram atendidos parcialmente, outros na totalidade, conforme *Quadro 9*.

Quadro 9 - Requisitos do artefato 1

Sigla	Requisito	Atendido?	OBS
RQ1	Operar acoplado na parte externa de veículos rodoviários urbanos.	Sim	
RQ2	Resistir a chuvas e intempéries.	Sim	
RQ3	Comunicar-se em tempo quase real por LoRaWAN ³ e GSM (MQTT ⁴) com parametrização de uso individual ou <i>failover</i> ⁵ .	Sim	Contingência de comunicação.
RQ4	Possuir camada de segurança física e lógica seguindo as boas práticas de TIC.	Sim	
RQ5	Possuir, de forma integrada, sensores de ruído, luminosidade, temperatura, umidade e qualidade do ar.	Sim	
RQ6	Ser alimentado por fonte de energia interna e bateria com painel solar (desejável).	Parcial	Apenas por fonte interna.
RQ7	Coletar coordenadas de latitude e longitude via GPS.	Sim	
RQ8	Possibilitar parametrização dos sensores e tempos de coleta via interface WEB.	Sim	
RQ9	Ser implementado em tempo e custo consonante com o cronograma do projeto.	Parcial	Prazo excedido.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Todos os requisitos (RQ) mapeados foram atendidos, sendo que apenas dois deles foram parcialmente atendidos. O RQ6: “ser alimentado por fonte de energia interna e bateria com painel solar”, foi relevado e parcialmente atendido. Isso ocorreu, pois, a implementação de fonte de energia solar implicaria em aumento significativo de custos e complexidades do desenvolvimento de hardware, além disso, foi constatado que ser alimentado via painéis solares seria apenas um facilitador e não importaria obstáculos à execução do projeto, portanto tornou-se um requisito desejável.

Além disso, o RQ9: “ser implementado em tempo e custo consonante com o cronograma do projeto” também teve seu atendimento parcial, uma vez que os custos do desenvolvimento se mantiveram dentro dos valores projetados, entretanto, os prazos de execução não foram cumpridos devido aos ciclos de desenvolvimento e ajustes requeridos.

O requisito RQ3: “Comunicar-se em tempo quase real por LoRaWAN e GSM (MQTT) com parametrização de uso individual ou failover” também se mostrou muito importante de ter sido concebido, uma vez que durante a experimentação e validação do protótipo em movimento, a cobertura de rede LoRaWAN da área urbana de Caxias do Sul somada às sombras de sinal,

³ LoRaWAN é um protocolo de comunicação de rede de área ampla de baixa potência (LPWAN) que utiliza a tecnologia LoRa e permite a transmissão de dados em longas distâncias.

⁴ O MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação que funciona em cima do protocolo TCP/IP e é usado para transmitir e receber dados por meio de uma rede com limitação de recursos e largura de banda limitada, como é o caso de dispositivos da Internet das Coisas (IoT).

⁵ Failover é um mecanismo de contorno de indisponibilidade que garante a continuidade dos serviços de sistemas e redes em caso de falhas.

culminaram na intermitência aguda da conectividade, resultando na necessidade de uso do dispositivo configurado exclusivamente para coletar utilizando o protocolo GSM(MQTT).

Considerando o contexto de inovação e as exigências do projeto de pesquisa, o próximo passo consistiu na checagem de mercado. Para isso, foi realizado pesquisas na internet e benchmarking em eventos com o intuito de buscar dispositivos que pudessem ser reaproveitados para serem incorporados ao projeto. Ao final do processo de busca, foi realizado o confronto entre os dispositivos de mercado, seus componentes e funcionalidades e os requisitos do projeto conforme *Quadro 10*.

Quadro 10 - Dispositivos de mercado e convergência com o projeto

Fabricante	Site	Foco da aplicação	Protocolo	Sensores	Requisitos
Air quality	airquality.com	Monitoramento da qualidade do ar	LoRa	Sensor de qualidade do ar	RQ2, RQ4, RQ6 (parcial), RQ9.
Texas Instruments	ti.com	Monitoramento climático	Zigbee	Sensor de umidade e temperatura	RQ2, RQ4, RQ5 (parcial).
WeatherFlow	weatherflow.com	Previsão do tempo	Wi-Fi	Sensor meteorológico	RQ2, RQ4, RQ5 (parcial)
Davis Instruments	davisnet.com	Monitoramento de radiação	4G	Sensor de radiação UV	RQ2, RQ4, RQ6
Vegetronix	vegetronix.com	Monitoramento agrícola	LoRa	Sensor de umidade	RQ2, RQ5
Aeroqual	aeroqual.com	Monitoramento ambiental	4G, Wi-Fi	Vários sensores de qualidade	RQ2, RQ3, RQ5
Brüel & Kjør	bksv.com	Controle de poluição sonora e vibração	Wi-Fi	Microfone	RQ2, RQ5 (parcial)
Aeroqual	aeroqual.com	Monitoramento de poluição	LoRa	Sensor de poluição	RQ2, RQ3, RQ5
YSI (Xylem)	xylem.com	Monitoramento de cursos d'água	4G, Wi-Fi	Sensores de nível de água	RQ2
Alphasense	alphasense.com	Monitoramento de gases	LoRa	Sensor de gás	RQ2, RQ5, RQ6
Extech Instruments	extech.com	Monitoramento climático	Wi-Fi	Sensor DHT11	RQ2, RQ5
Aqua Tactics	aquatactics.com	Monitoramento hídrico	4G	Sensor de nível de água	RQ2
Ambient Weather	ambientweather.com	Previsão do tempo	Wi-Fi	Sensor meteorológico	RQ2, RQ4
Hach	hach.com	Monitoramento de qualidade hídrica	LoRa, 4G	Sensores de água	RQ2, RQ
Enviros	enviros.com	Monitoramento ambiental	LoRa	Sensores ambientais	RQ2
Senzemo	senzemo.com	Monitoramento climático e agro	LoRa	Sensores ambientais e solo	RQ2, RQ5
Philips Hue	philips.com	Segurança, automação	Zigbee	Sensor de movimento	RQ2, RQ5
Kestrel	kestrelmeters.com	Monitoramento de vento	4G	Anemômetro	RQ2
Decagon Devices	decagon.com	Monitoramento agrícola	LoRa	Sensor de umidade do solo	RQ2, RQ5
RainWise	rainwise.com	Monitoramento climático	LoRa	Sensor de chuva	RQ2, RQ4, RQ6 (parcial), RQ9.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

A escolha pelo desenvolvimento de um protótipo foi fundamentada no fato de que não foi possível identificar dispositivos prontos que pudessem atender os requisitos listados, principalmente o RQ6: “possuir, de forma integrada, sensores de ruído, luminosidade, temperatura, umidade e qualidade do ar” e o RQ3: “Comunicar-se em tempo quase real por LoRaWAN e GSM (MQTT) com parametrização de uso individual ou failover”. Também não foi encontrado o RQ1: “Operar acoplado na parte externa de veículos rodoviários urbanos”, mas esse seria facilmente adaptado em caso de reaproveitamento. Os demais requisitos poderiam ser atendidos de forma parcial por alguns dispositivos, mas o esforço requerido para o atendimento total e a incorporação dos requisitos faltantes não compensavam sob o aspecto de custo e pela inviabilidade do acesso e intervenção no projeto original do equipamento.

Ainda assim, esse levantamento proporcionou insights e serviu de matéria prima para inspirar a concepção do projeto, uma vez que possibilitou perceber as limitações e oportunidades para a criação do projeto conceitual do protótipo, já que os datasheets e as informações técnicas dos dispositivos pesquisados, bem como fóruns e bases de perguntas frequentes, estavam disponíveis para consulta.

Após a fase de exploração de mercado, a pesquisa avançou na elaboração do projeto conceitual do dispositivo. Neste estágio, discutiram-se e definiram-se os parâmetros estéticos e funcionais do produto, estabelecendo-se diretrizes e definições de elementos que guiaram o desenvolvimento. Os componentes e suas respectivas características técnicas foram especificados em acordo com viabilidade econômica e disponibilidade de aquisição no mercado local, respeitando o atendimento aos requisitos do projeto.

Finalmente, a definição do projeto conceitual do protótipo culminou na consolidação de uma documentação detalhada, composta por materiais técnicos que conferiram e evidenciaram a viabilidade do conceito desenvolvido. Nela os componentes estão especificados e discriminados em um nível de detalhe passível de orientar a construção de dispositivos similares. Os parâmetros, frequências, características e demais elementos que compõe o projeto acompanham a descrição de cada item.

Essa documentação não apenas serviu para o registro e consolidação do projeto, mas também como um guia fundamental para a fase de prototipagem e produção. Dessa forma, a referência técnica principal do *hardware* construído, representado pelo *Quadro 11*, também inclui o vínculo do componente com o requisito atendido do projeto. Garantindo o controle da consistência do avanço construtivo.

Quadro 11 - Especificações técnicas de hardware do Artefato 1

Componentes	Características e parâmetros	Requisito relacionado
LoRaWAN EndDevice Radioenge 1.0.3 A/C	Comunicação LoraWAN 915Mhz – Sub banda 2.	RQ3
Sim Tech SIM808 GSM/GPRS	Comunicação via Chip GSM - GPRS (2G) / LTE (3G) / NB-IOT (4G) e protocolo MQTT + Geolocalização GPS / GNSS.	RQ3, RQ7
Espressif Systems – ESP32 (TTGO WiFi)	Integrador - módulo de CPU com Interface Wi-Fi channel 2.4 Ghz - WPA/WPA2 e Bluetooth Low Energy (BLE) 4.2 BR/EDR. Segurança SSL CA 2048 bits TLS 1.2.	RQ5, RQ4
Advanced Monolithic Systems - AMS1117 e Texas Instrument LM2596 Simple Switcher.	Fonte de alimentação interna 12V.	RQ6
InvenSense INMP441	Sensores de Ruído de resolução 33dB~120dB SPL.	RQ5
Aosong Eletronics DHT22 / AMS2302	Sensor de Umidade (0%~100%) e Temperatura (-40°C~80°C).	RQ5
AMS CCS811	Sensor de CO2 (400ppm até 8192ppm) e Gases VOC (0ppb to 1187ppb).	RQ5
Rohm Semiconductor BH1750FVI	Sensor de Luminosidade - 0 até 65535 lux.	RQ5
Case (Gabinete)	Desenvolvido em plástico, em impressora 3D pelo fornecedor terceiro. Vedação e resistência a intempéries IP66 permitindo isolamento para faixa de temperatura operacional de -40 ~ +125°C.	RQ2
<i>Firmware</i> ⁶ e Interface WEB	Acessível via Wifi e autenticação WPA para parametrização dos sensores e funcionalidades. Desenvolvido junto ao fornecedor terceiro do projeto com base em “C”.	RQ8, RQ4
Suporte de fixação	Suporte e viabilidade de fixação na face externa de veículos automotores rodoviários. Desenvolvimento realizado pelo fornecedor terceiro.	RQ1
Construção de 3 unidades	Serviços terceiros e componentes compatíveis com custos e prazos do projeto. Cronograma para o desenvolvimento previsto em 120 dias no orçamento de R\$ 7.500,00	RQ9

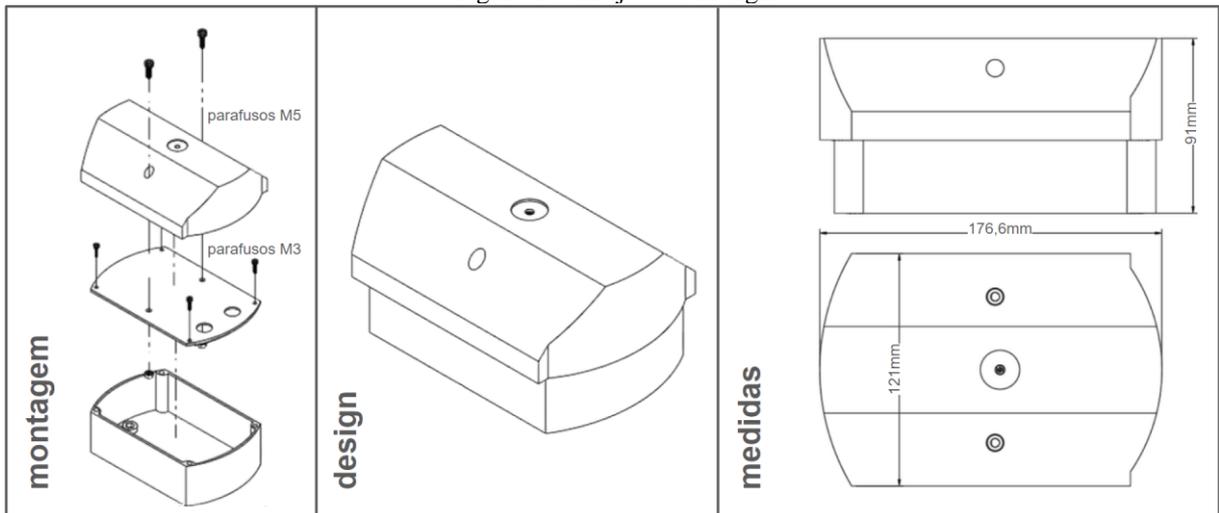
Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O projeto de design do dispositivo contemplou um case inferior, uma tampa e um case superior, exigiu atenção para a fixação adequada dos componentes, utilizando parafusos M3 e M5 para reforçar a integridade do conjunto. O gabinete foi construído em plástico preto em uma impressora 3D e utilizou de vedações de mercado para seu isolamento, proporcionando o isolamento IP66⁷. O dimensional resultante do case foi de 91mm de altura, por 176.6mm de largura e 121mm em um formato especial, conforme a *Figura 13*.

⁶ Firmware é um tipo de software que está permanentemente instalado em um dispositivo eletrônico e que possui a função de controlar o hardware. É uma camada intermediária entre o hardware e a aplicação final.

⁷ IP66 é uma classificação de proteção utilizada para descrever o nível de proteção que um equipamento elétrico ou eletrônico oferece contra a entrada de sólidos e líquidos, de acordo com a norma internacional IEC 60529.

Figura 13 - Projeto de Design



Fonte: adaptado de Manual AMV - Sirros IoT (2024).

O protótipo foi concebido para ser alimentado com um conector Mike GX16 de duas vias e consome 12V. Na extremidade oposta do conector GX16, há um cabo PP⁸ com dois fios: um azul, designado como negativo, e um preto, designado como positivo, conforme a *Figura 14*. Desta forma o dispositivo pode ser alimentado pela energia disponível nos veículos automotores rodoviários.

Figura 14 - Componentes de alimentação de energia



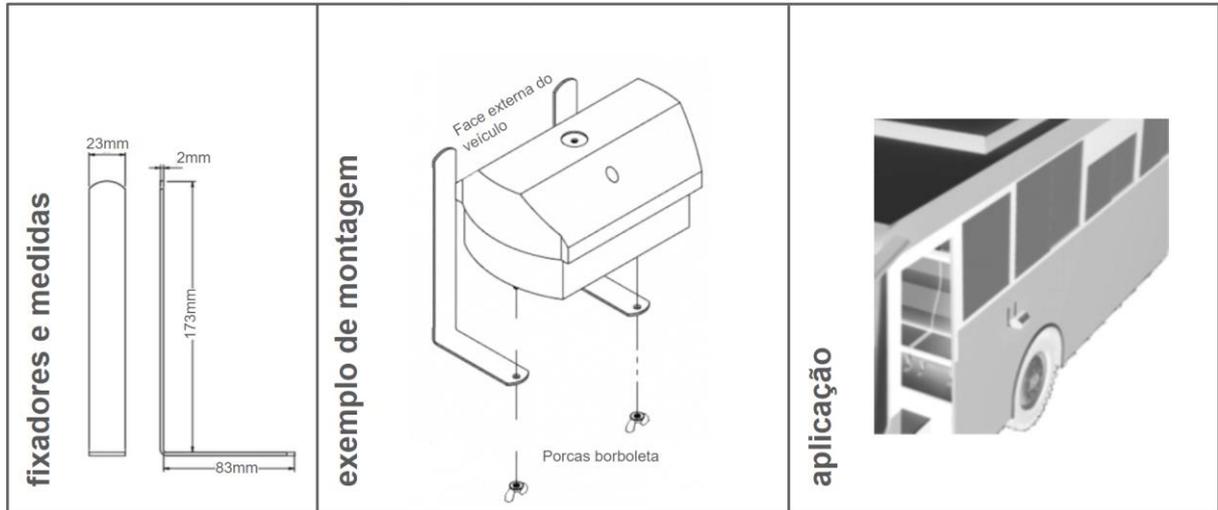
Fonte: adaptado de Manual AMV - Sirros IoT (2024).

Ainda em fase de projeto, foi concebido um fixador para posicionar o protótipo em face externa de veículos rodoviários automotores. De característica simples, o componente adotado

⁸ PP é um tipo de cabo elétrico que utiliza um revestimento de polipropileno, material plástico conhecido por suas boas propriedades elétricas e mecânicas. Possui característica de ser flexível, leve e resistentes a altas temperaturas, umidade e produtos químicos.

é uma espécie de mão francesa, ou cantoneira, em formato de “L”, com perfurações que possibilitam afixar o dispositivo em si e, por sua vez, no veículo por meio de fitas dupla face de alta resistência, conforme *Figura 15*.

Figura 15 - Suporte e fixação do dispositivo



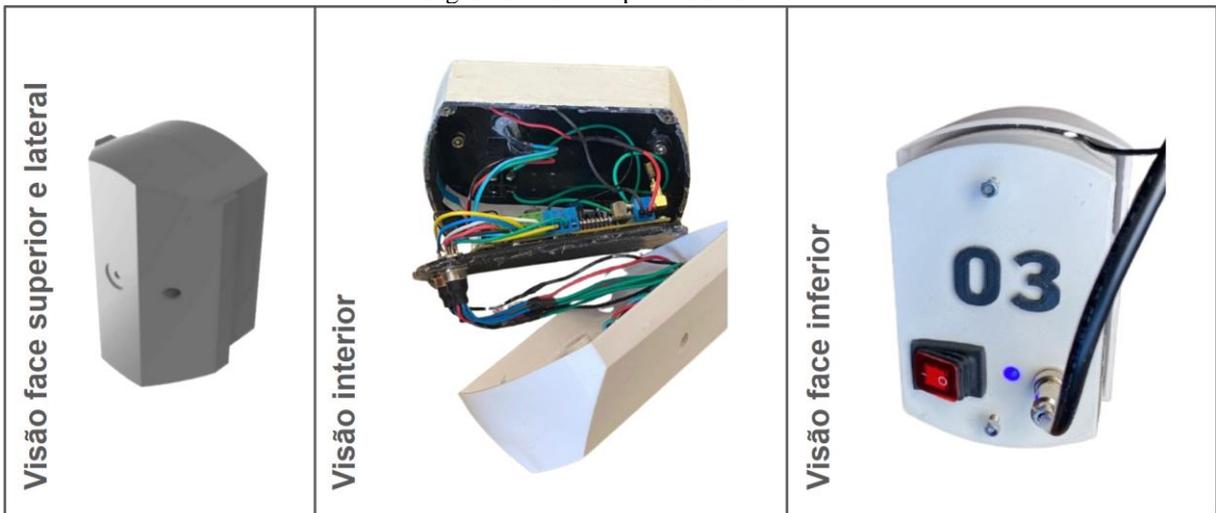
Fonte: adaptado de Manual AMV - Sirros IoT (2024).

Após o projeto conceitual e técnico desenvolvidos, o dispositivo foi construído. Não foram evidenciadas alterações significativas entre o projeto e sua construção, apenas melhorias. Os ciclos de construção apontaram a necessidade de incremento de alguns componentes para melhorar sua usabilidade e aprimorar a performance do GPS.

Nessa direção, o dispositivo recebeu incremento de um interruptor para realizar a função liga/desliga, um LED RGBW⁹ indicativo de status e uma antena genérica externa para potencializar o sinal do GPS. Também foi necessário realizar a reimpressão do case do dispositivo na cor branca, uma vez que apresentou sobreaquecimento quando exposto ao sol. A parte dos incrementos realizados, a versão final do hardware do dispositivo resultou fiel ao projeto inicial, contendo todos os componentes previamente estabelecidos compilados em um manual técnico (SIRROS IOT, 2024). A *Figura 16* retrata a versão física do protótipo construído.

⁹ LED RGBW é um tipo de diodo emissor de luz que combina quatro cores de luz: Vermelho (R), Verde (G), Azul (B) e Branco (W).

Figura 16 - Protótipo do Artefato 1



Fonte: elaborado pelo autor com base em Sirros IoT (2024).

No tocante ao desenvolvimento da parte lógica, embora o acesso indevido ao dispositivo não trouxesse prejuízos significativos e tampouco seu escopo de coleta possua dados sensíveis, foram implementadas duas camadas de segurança que antecedem a concessão de acesso ao software. A primeira delas é o acesso ao dispositivo via WiFi que requer uma chave de segurança de rede WEP¹⁰. A segunda, é um nome de usuário válido combinado com um TOKEN dinâmico, com expiração automática do tempo de vida, requerendo uma vinculação em ferramenta externa para sua autenticação. conforme evidenciado na *Figura 17*.

Figura 17 - Camadas de segurança



Fonte: elaborado pelo autor com base em Sirros IoT (2024).

¹⁰ WEP (Wired Equivalent Privacy) é um protocolo de segurança utilizado em redes sem fio para proteger a comunicação entre os dispositivos conectados.

Em relação ao processo construtivo e de ajustes, o maior empenho se deu no desenvolvimento do artefato quando da construção lógica do dispositivo. O processo de construção e programação do firmware em uma versão viável foi o ponto em que resultou em intensivos esforços de ajuste e validações. A linguagem “C” mostrou-se adequada para o desenvolvimento desse projeto pela sua eficiência em termos de desempenho e controle direto sobre os recursos de hardware, o que foi apropriado para o desenvolvimento do firmware e da interface de gerenciamento do protótipo. Sua capacidade de manipulação de memória e proximidade com a linguagem de máquina permitiu que o código resultante seja leve e rápido. Além disso, o “C” possui vasta base de bibliotecas que suportou a implementação de protocolos e funcionalidades associadas com a parametrização, conectividade e comunicação dos componentes de forma individual e do artefato consolidado.

O design das telas de configuração e parametrização do protótipo, por sua irrelevância e limitação de função apenas em ser interface gráfica, foram desenvolvidas de forma simples, com o intuito estritamente funcional, sem considerar aspectos estéticos ou de experiência do usuário. Isso porque a interface possui a função esporádica de configuração e não foi detectada necessidade de requisitos nesse sentido, resultando em telas rudimentares e funcionais. Após realizar o login, o usuário pode navegar entre as guias “CONEXÃO”, “MQTT” e “DEVICE”.

A guia “CONEXÃO” possibilita realizar a parametrização de método de conexão, permitindo a seleção entre LoRa e GSM simultâneo, somente LoRa ou somente GSM. Além disso apresenta campos de configuração de registro do nome do dispositivo (APN), credenciais de acesso para registro do dispositivo nos servidores em nuvem (APN USER E PASSWORD) e exibe os campos de chave de autenticação do dispositivo, além do identificador único do dispositivo (APPEUI), a especificação de classe do LoRaWAN¹¹ do protocolo no campo “CLASSE DO LORA” e o fator de espalhamento¹² do protocolo no campo “DATA RATE”. Ou seja, campos úteis para o registro do dispositivo nos servidores LoRaWAN e seus parâmetros de funcionamento.

Na mesma direção, e exclusivo para a comunicação GSM, a guia “MQTT” apresenta campos para a configuração de parâmetros do protocolo de comunicação utilizado pela rede. O campo “TÓPICO” recebe um caminho de rede para organizar as mensagens que os dispositivos

¹¹ As classes do LoRaWAN, podem ser A, B ou C e permitem estabelecer o melhor uso do protocolo em termos de energia e comunicação pois permitem configurar a direcionalidade das transações, janelas de recepção programadas ou a recepção constante para comunicação em tempo real.

¹² O fator de espalhamento no LoRaWAN é um parâmetro que define a modulação do sinal, variando de 7 a 12. Sua escolha afeta diretamente a permeabilidade do sinal e a capacidade da rede, permitindo ajustes conforme a densidade do dispositivo e a distância do gateway.

enviam e recebem. Um tópico pode se desdobrar em outros níveis, nesse caso o campo "SUBTÓPICO" recebe o segundo nível do caminho específico, dentro de um tópico principal. Para que a comunicação MQTT ocorra é necessário também indicar os dados do servidor no campo “*BROKER MQTT*¹³” e sua respectiva “*PORTA*” de comunicação. Além disso, nessa guia, ainda é possível atribuir um nome ao protótipo no campo “*NOME DO DISPOSITIVO*”. Conforme evidenciado na *Figura 18*.

Figura 18 - Telas de parametrização do Artefato 1

The figure displays two side-by-side configuration screens. The left screen, titled "Tela de configuração de parâmetros de conexão", has tabs for "CONEXÃO", "MQTT", and "DEVICE", with "CONEXÃO" selected. It features a section "ESCOLHA O MÉTODO DE CONEXÃO" with a dropdown menu set to "LoRa e GSM simultâneo". Below are input fields for "APN", "APN USER" (filled with "virtu"), "APN PASSWORD" (filled with "virtu"), "APPKEY" (filled with "3B E7 7A 33 37 77 78 50 45 54 39 F8 6C 6B 6A 3B"), and "APPEUI" (filled with "3B E7 7A 33 37 77 78 50 45 54 39 F8 6C 6B 6A 3B"). The right screen, titled "Tela de Configuração do protocolo MQTT", has tabs for "MQTT", "DEVICE", and "CONEXÃO", with "MQTT" selected. It features a section "DADOS BROKER MQTT" with fields for "TÓPICO DO DISPOSITIVO" (filled with "/dev/sirrostele/UCS_AMV-03/data"), "TÓPICO", "SUBTÓPICO", "NOME DO DISPOSITIVO" (filled with "UCS_AMV-03"), "BROKER MQTT" (filled with "oci-sambass"), and "PORTA".

Fonte: elaborado pelo autor com base em Sirros IoT (2024).

Ainda no contexto do *firmware*, a última guia da interface de configuração do dispositivo é a “*DEVICE*”, que apresenta apenas dois campos e o botão de “*Salvar*”. Uma vez que o protótipo foi concebido com dois protocolos de comunicação, foi possível estabelecer uma dinâmica independente entre GSM (MQTT) e LoRA no tempo de envio dos dados coletados. Para isso, o campo “*INTERVALO DE ENVIO PARA O GSM/4G(ms)*” e o campo “*INTERVALO DE ENVIO PARA O LORA (ms)*” foram disponibilizados, permitindo parametrizar o envio em intervalos mínimos de 1000 em 1000 milissegundos, ou 1s, em ambos os protocolos, conforme exibido na *Figura 19*.

¹³ Um broker MQTT é um servidor central que atua como intermediário entre os clientes do protocolo MQTT. Ele recebe, filtra por tópico e encaminha as mensagens para os clientes de destino.

Figura 19 - Parametrização do intervalo de envio por protocolo



A interface de configuração apresenta um cabeçalho com as abas "DEVICE", "CONEXÃO" e "MQTT". O título principal é "Tela de configuração de intervalo de envio LoRa e GSM". Abaixo, há uma seção "CONFIGURE O DEVICE" com dois campos de entrada: "INTERVALO DE ENVIO PARA O GSM/4G(ms)" com o valor "1000" e "INTERVALO DE ENVIO PARA O LORA(ms)" com o valor "10000". Um botão verde "Salvar" está localizado na base da seção.

Fonte: elaborado pelo autor com base em Sirros IoT (2024).

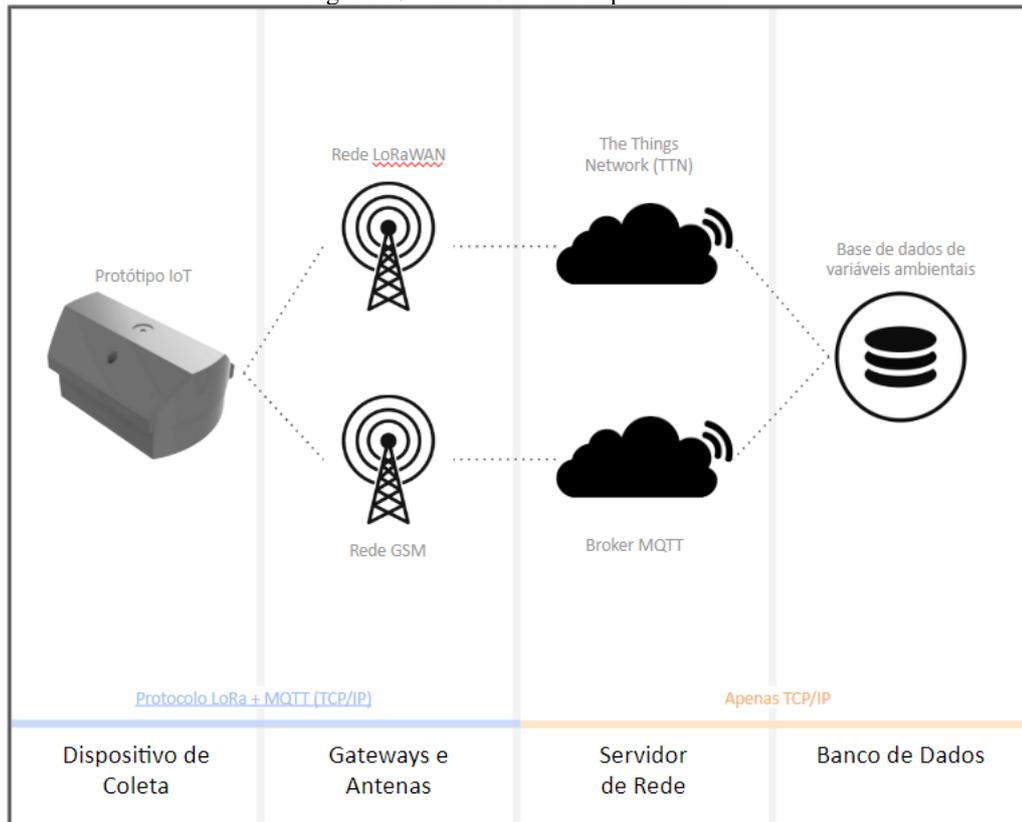
Para além dos parâmetros gerenciáveis por meio da interface gráfica, e sendo uma das funções mais complexas do dispositivo, o firmware do protótipo é o responsável por orquestrar toda a operação de processamento e comunicação do artefato. No seu código foram implementadas algumas regras e lógicas de funcionamento dos sensores, como por exemplo assumir que o dado de ruído enviado corresponda ao pico de decibéis, e não ao valor lido no ato do envio, fazendo com que haja uma lógica de comparação e armazenamento de dados para que isso ocorra. Outras funções críticas também reforçam o protagonismo do firmware neste artefato, como o processo de autenticação e estabelecimento de conexão entre dispositivos e a rede em conformidade com os padrões LoRaWAN e MQTT, logs de erros, controles de autenticação, comandos remotos etc.

Com o dispositivo desenvolvido e para permitir a coleta e o armazenamento de dados dos sensores do protótipo e a interação remota com o dispositivo, foi configurada uma infraestrutura em nuvem gratuita composta por uma máquina virtual com sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) em um ambiente gratuito Oracle, com a finalidade armazenamento dos dados coletados em tempo real, um servidor público de rede LoRaWAN (TTN) e um servidor MQTT, ambos gratuitos também. Para que tudo pudesse funcionar, foi realizada a parametrização dos atributos de conectividade e autenticação, tanto na infraestrutura em nuvem, quanto no protótipo. Foi realizada a utilização de redes públicas LoRaWAN e rede privada GSM da operadora Claro para a comunicação, ou seja, não foi necessário implementar a

estrutura de conectividade.

A infraestrutura implementada, conforme *Figura 20*, foi fundamental para garantir que os dados coletados estivessem disponíveis para futuras análises e integrações. Além disso, somente com a infraestrutura completa foi possível realizar validações técnicas dos requisitos esperados pelo artefato, possibilitando assim, a coleta experimental.

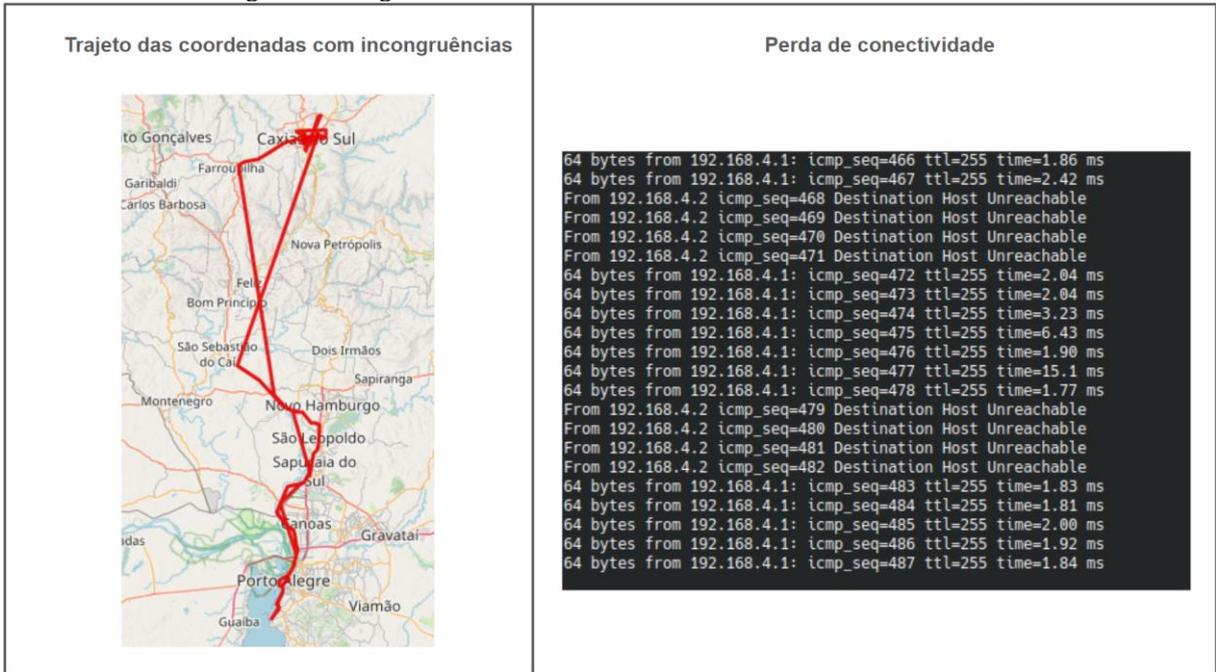
Figura 20 - Infraestrutura implementada



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O processo de coleta experimental iniciou com testes do dispositivo em bancada e em veículos experimentais e evidenciou diversos problemas que exigiram ciclos de correção e validação. As principais recorrências destas situações foram relacionadas à inoperabilidade do equipamento devido a falhas no processo de inicialização, falhas e latência no processo de conexão do dispositivo com as redes LoRa e GSM, dificuldades relacionadas à intermitência e falta de precisão de captura das coordenadas de GPS, conforme *Figura 21*.

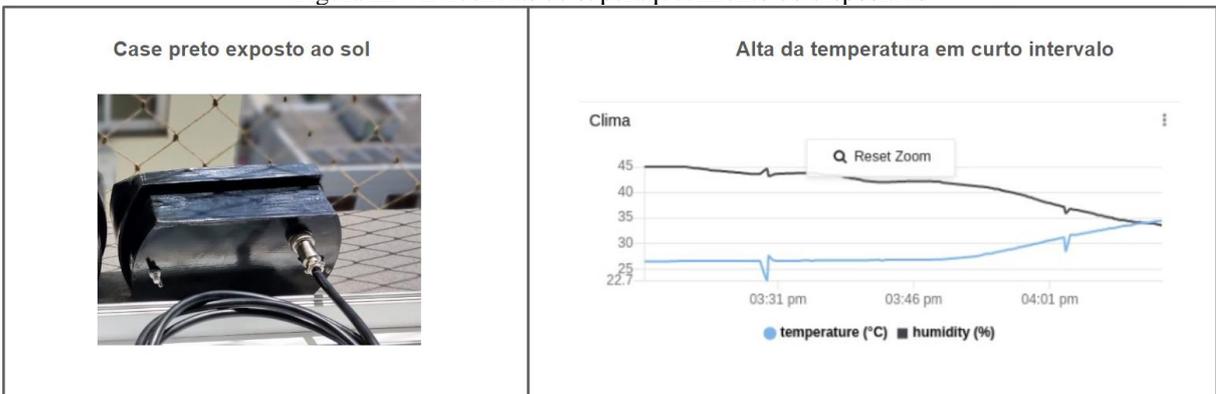
Figura 21 - Registro de inconformidade de funcionamento do Artefato 1



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

No espectro de problemas encontrados durante os ciclos de desenvolvimento, o dispositivo apresentou superaquecimento do case, conforme *Figura 22*.

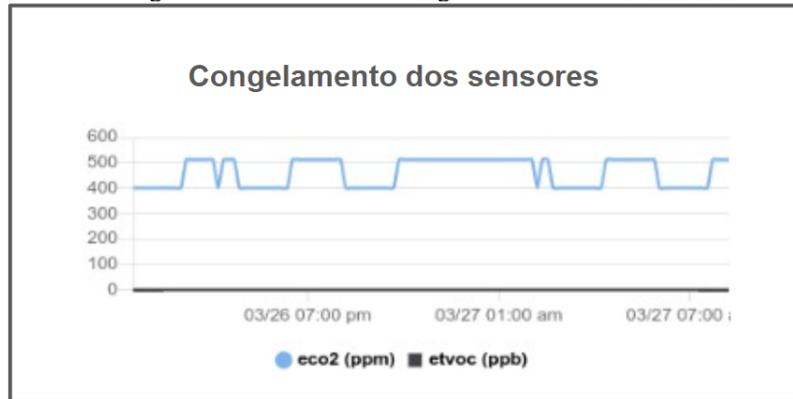
Figura 22 - Evidências de superaquecimento do dispositivo



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Ainda, de forma recorrente e intermitente, houve erros que culminaram no congelamento da coleta dos sensores, conforme *Figura 23*.

Figura 23 - Evidência de congelamento dos sensores



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Desconsiderando o problema do GPS, que foi atenuado com a colocação de uma antena externa, e o sobreaquecimento do case que foi contornado com a troca da cor do gabinete, todos os demais problemas de intermitência foram atribuídos a problemas de desenvolvimento de *firmware* e exigiram força de trabalho intensivo por parte do fornecedor para a busca de contornos. Foi durante esses processos de testes e ajustes que os prazos estabelecidos em cronograma não tiveram mais sua linha de base cumprida, requerendo dilatação de prazo do projeto.

Após os avanços na direção da solução do problema por meio dos repetidos ajustes do *firmware* desenvolvido e novas rodadas de validação, foram desenvolvidos outros 2 protótipos idênticos ao modelo ajustado. Posteriormente, foi acionado e firmado um acordo de cooperação e um termo de confidencialidade com uma empresa privada de fretamento da cidade de Caxias do Sul. Esta empresa possui uma frota de aproximadamente sessenta veículos, entre ônibus, microônibus e vans que foram colocados à disposição para receberem os dispositivos de coleta, conforme *Figura 24*.

Figura 24 - Empresa privada de fretamento de Caxias do Sul



Fonte: o autor (2024).

A escolha dos veículos foi realizada considerando os veículos que tiveram o uso mais intensivo, com rotas mais heterogêneas e em turnos diurnos e noturnos. Além disso, emitiram

menor nível de ruído e tivessem facilidade na instalação, culminando na escolha de três vans com trajetos e rotas distintas. Durante o processo de instalação, um dos dispositivos deixou de funcionar, e foi submetido ao fornecedor para reparos, entretanto não retornou a tempo de ser utilizado. Por esse motivo, a pesquisa transcorreu com dois dispositivos, que foram instalados no teto, na parte externa de duas vans.

Para a fixação, foi desenvolvido um novo suporte, fabricado pela própria empresa de fretamento, uma vez que o suporte planejado e desenvolvido para o dispositivo era adequado para fixação lateral com o uso de fita dupla face. A opção por fixar no teto da van se deu pela indisponibilidade de espaço lateral adequado e pela facilidade na conexão dos cabos elétricos. Além disso, a altura do teto das vans utilizadas é de 2,8 metros estando dentro do intervalo recomendado para a medição de gases no contexto microambiental urbano que é entre 1,5 e 3 metros de altura do chão (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - CFR PART 58, 1989).

O cabeamento do dispositivo foi acomodado com o uso de fita adesiva e alimentado pela bateria da van, ligado diretamente no circuito de ignição conforme *Figura 25*. Portanto, sempre que a van teve a chave girada no primeiro estágio, o dispositivo recebeu energia e procedeu com a inicialização e coleta de dados.

Figura 25 - Instalação física dos dispositivos nos veículos



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Ambos os dispositivos, foram configurados para utilizar as redes LoRaWAN e GSM simultaneamente, com a coleta em intervalos de 10 segundos a cada captura. Nos primeiros dias de experimentação da coleta de dados, o comportamento dos protótipos transcorreu conforme o esperado e os dados foram capturados e de forma sistemática e fluida. A partir do vigésimo

dia foi possível perceber congelamento nos sensores de qualidade do ar e, no segundo mês, um dos dispositivos que estava em operação falhou e deixou de operar. A partir disso, a pesquisa seguiu com um dispositivo operando a coleta das variáveis, com exceção dos dados da qualidade do ar que seguia congelado, até que também sucumbiu, deixando de funcionar após o quarto mês de operação. Em virtude dos atrasos de cronograma dos objetivos previstos para o primeiro artefato terem sido superados, optou-se por não realizar novas coletas e tampouco mais rodadas de correção dos protótipos.

Durante todo período de coleta, o conjunto de dados foi armazenado e consumido em tempo real, entretanto, não havia disponibilidade de uma plataforma para visualização adequada. Embora as colunas do banco de dados tenham seguido a nomenclatura descritiva, ou seja, representavam com clareza o conteúdo dos dados que estavam sendo armazenados, a quantidade simultânea de variáveis coletadas, suas diferentes naturezas, e o volume de coletas, despertou a necessidade de avançar em um novo artefato para viabilizar a tratativa e a exibição das informações, conforme exemplificado na *Figura 26*.

Figura 26 - Dados do banco em tempo real

Banco de dados com atualização em tempo real

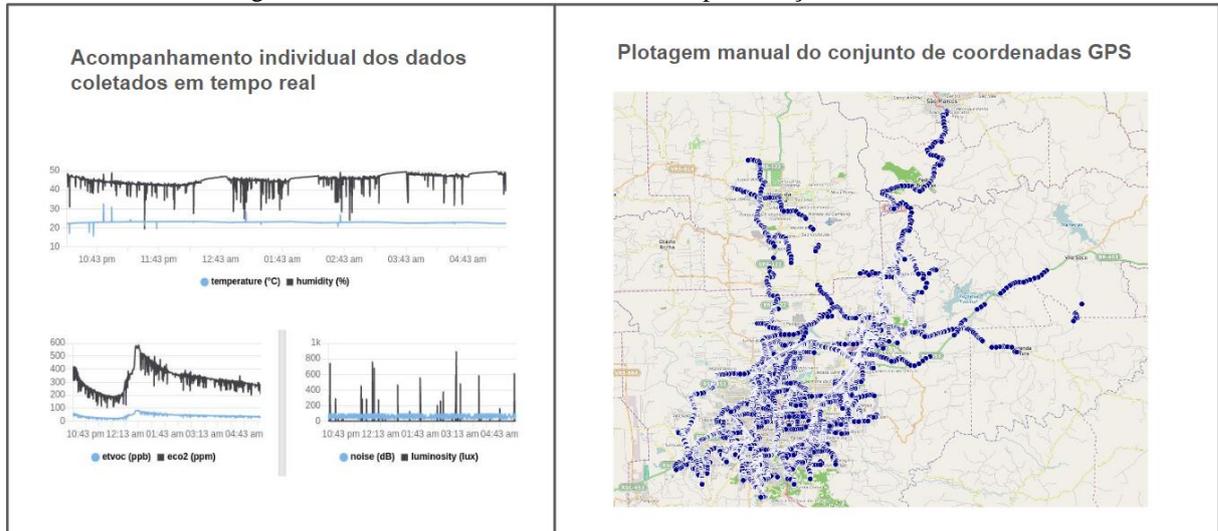
Id	Data	Device	Contagem	Temperatura	Umidade	Luminosidade	Ruido	Eco2	Etvoc	latitude	Longitude	Unixtime	Dados
64053	2023-01-17 11:15:14.114704	siroteste_UCS_AMV-01	28	30.5	38.7	1175.8	93.4	13.0	486.0	-29.172987	-51.177292	1673954113	siroteste_UCS_AMV-01 28 30.5 38.7 1175.8 93.4 486 13 29.172987 -51.177292 1673954113
64052	2023-01-17 11:15:05.454196	siroteste_UCS_AMV-01	27	30.5	38.9	1185.0	94.3	19.0	530.0	-29.173021	-51.177254	1673954103	siroteste_UCS_AMV-01 27 30.5 38.9 1185.0 94.3 530 19 29.173021 -51.177254 1673954103
64051	2023-01-17 11:14:55.632018	siroteste_UCS_AMV-01	26	30.5	38.9	1170.8	98.7	24.0	561.0	-29.172725	-51.177277	1673954093	siroteste_UCS_AMV-01 26 30.5 38.9 1170.8 98.7 561 24 29.172725 -51.177277 1673954093
64050	2023-01-17 11:14:43.853435	siroteste_UCS_AMV-01	25	30.5	38.4	1288.3	107.2	27.0	578.0	-29.172693	-51.177002	1673954083	siroteste_UCS_AMV-01 25 30.5 38.4 1288.3 107.2 578 27 29.172693 -51.177002 1673954083
64049	2023-01-17 11:14:34.211565	siroteste_UCS_AMV-01	24	30.5	38.7	1857.5	99.0	34.0	629.0	-29.173082	-51.176979	1673954073	siroteste_UCS_AMV-01 24 30.5 38.7 1857.5 99.0 629 34 29.173082 -51.176979 1673954073
64048	2023-01-17 11:14:23.855840	siroteste_UCS_AMV-01	23	30.5	38.9	1162.5	107.3	45.0	697.0	-29.173115	-51.17688	1673954063	siroteste_UCS_AMV-01 23 30.5 38.9 1162.5 107.3 697 45 29.173115 -51.17688 1673954063
64047	2023-01-17 11:14:13.833589	siroteste_UCS_AMV-01	22	30.5	40.2	1228.3	106.4	56.0	768.0	-29.173058	-51.176155	1673954053	siroteste_UCS_AMV-01 22 30.5 40.2 1228.3 106.4 768 56 29.173058 -51.176155 1673954053
64046	2023-01-17 11:14:03.877053	siroteste_UCS_AMV-01	21	30.5	39.7	1180.8	102.6	69.0	855.0	-29.173063	-51.176064	1673954043	siroteste_UCS_AMV-01 21 30.5 39.7 1180.8 102.6 855 69 29.173063 -51.176064 1673954043
64045	2023-01-17 11:13:53.674966	siroteste_UCS_AMV-01	20	30.5	38.7	2054.2	96.3	79.0	923.0	-29.173388	-51.17601	1673954033	siroteste_UCS_AMV-01 20 30.5 38.7 2054.2 96.3 923 79 29.173388 -51.17601 1673954033
64044	2023-01-17 11:13:43.653739	siroteste_UCS_AMV-01	19	30.5	39.3	1709.2	91.9	83.0	945.0	-29.173416	-51.176163	1673954023	siroteste_UCS_AMV-01 19 30.5 39.3 1709.2 91.9 945 83 29.173416 -51.176163 1673954023
64043	2023-01-17 11:13:33.971492	siroteste_UCS_AMV-01	18	30.6	38.2	1707.5	95.9	85.0	961.0	-29.173428	-51.176216	1673954013	siroteste_UCS_AMV-01 18 30.6 38.2 1707.5 95.9 961 85 29.173428 -51.176216 1673954013
64042	2023-01-17 11:13:23.632976	siroteste_UCS_AMV-01	17	30.6	38.4	1676.7	105.8	78.0	918.0	-29.17342	-51.176758	1673954003	siroteste_UCS_AMV-01 17 30.6 38.4 1676.7 105.8 918 78 29.17342 -51.176758 1673954003
64041	2023-01-17 11:13:13.233953	siroteste_UCS_AMV-01	16	30.6	40.3	1701.7	102.6	70.0	863.0	-29.173389	-51.177776	1673953993	siroteste_UCS_AMV-01 16 30.6 40.3 1701.7 102.6 863 70 29.173389 -51.177776 1673953993

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

A validação dos dados, principalmente no que diz respeito ao uso de coordenadas geográficas, antes da construção do segundo artefato, foi possível apenas por meio de tratamento manual, com dados individualizados, sem proporcionar manuseio, filtros e funcionalidades delineadas na pesquisa, tampouco consolidar dados por bairros e realizar

gráficos dinâmicos em acordo com a seleção, conforme exemplificado na *Figura 27*.

Figura 27 - Dados com tratativa manual e representação individualizada



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Portanto, a necessidade de construção de uma plataforma para a análise dos dados foi o gatilho para a manutenção dos ciclos iterativos do projeto e resultou em nova dilatação de cronograma, uma vez que os objetivos não haviam sido alcançados na sua totalidade.

Como resultado, o avanço nos graus de consolidação do artefato 1, aportou contribuições materiais no sentido da entrega da documentação técnica, parametrização de infraestrutura, construção de três protótipos de dispositivos dinâmicos de sensoriamento ambiental IoT com TRL7¹⁴ e uma base experimental de dados de variáveis ambientais integrada com coordenadas geográficas associadas a cada pulso de coleta. Invariavelmente, por conta da limitação de orçamento destinado a compra dos componentes, principalmente sensores, combinado com a característica inovadora e de prova conceitual esperada neste projeto, não foram aferidos os dados coletados com outros equipamentos de referência, tampouco recomenda-se reutilizar a base de dados para missões críticas sem que antes seja realizado um trabalho de verificação de acuracidade da base coletada junto aos órgãos competentes.

Sob a perspectiva imaterial, os avanços nos graus de consolidação teórica conceitual, desde o delineamento da pesquisa até a consolidação da entrega deste artefato, contribuíram no sentido de compreender o contexto de uso de dados ambientais e geoespaciais na cidade de Caxias do Sul, especialmente em relação à validação empírica dos problemas de pesquisa

¹⁴ TRL7 refere-se a um nível avançado de prontidão tecnológica, onde uma tecnologia foi demonstrada em um ambiente operacional. Neste estágio, o artefato ou sistema é representado em um protótipo que é testado em condições reais de uso, revelando sua prontidão em uma escala que varia de 1(baixa) a 9(alta).

propostos. Caxias do Sul, com sua configuração montanhosa, ofereceu um cenário propício para o desenvolvimento de uma pesquisa com o uso dispositivos IoT, uma vez que sua geografia apresenta desafios em termos técnicos para as soluções que visam coletar e analisar dados relevantes para a melhoria da qualidade de vida da população. A familiarização e os testes com os parâmetros de configuração das redes LoRaWAN, trouxeram luz às condições de uso e a variação de comportamento no contexto urbano e permitiu uma avaliação mais precisa das capacidades e limitações dos dispositivos. Este conhecimento, somado à análise inicial das hipóteses técnicas, propõe uma revisão de requisitos funcionais que podem ser reutilizados em novos projetos promovendo eficiência e eficácia de sistemas de coleta de dados em cidades com características semelhantes às do município de Caxias do Sul.

A pesquisa inicial sugeriu a utilização da rede LoRaWAN; no entanto, a hipótese foi refutada em prol de alternativas como as tecnologias GPRS, que se mostraram mais adequadas para as condições do ambiente real. Essa decisão, além de reforçar a necessidade de um conhecimento aprofundado em arquitetura de TIC para armazenamento e manipulação de dados, revelou a urgência de uma abordagem que considere as limitações dos dispositivos em operação. Assim, este conhecimento e essas interações são essenciais para fomentar o desenvolvimento de soluções inovadoras voltadas ao conceito de *smart cities*, contribuindo para a pesquisa colaborativa e o aprimoramento contínuo das práticas de coleta e análise de dados urbanas.

O conhecimento contextual somado às avaliações das bases de dados secundárias, em conjunto com a exploração científica e a aplicação rigorosa dos procedimentos metodológicos da DSR, se mostraram fundamentais para a tomada de decisão e empenho de esforços dos ciclos iterativos da pesquisa para a construção do artefato 1. Na entrega deste artefato e nos respectivos resultados materiais e imateriais é que reside parte da resposta à questão de pesquisa proposta, que será debatido em maior profundidade no capítulo de discussão dos resultados. De forma complementar, no sentido das contribuições, os avanços realizados e consolidados na entrega do artefato 1, apresentam subsídios para nortear o desenvolvimento de soluções tecnológicas que se alinhem às práticas administrativas, sociais e inovadoras em contextos e cidades similares no espectro das cidades inteligentes centradas no cidadão.

4.3 ARTEFATO 2 – PLATAFORMAS DE ANÁLISE DE DADOS

A motivação principal para a construção do segundo artefato partiu da necessidade de constituir uma plataforma que permitisse a análise e a exibição dos dados advindos dos sensores

e das bases de dados secundárias em um contexto de GIS. Para tanto, foi necessário iniciar um novo ciclo de desenvolvimento que exigiu revisitar a compreensão do problema de pesquisa e os objetivos do trabalho para garantir a o alinhamento dos requisitos desta entrega. Nesse sentido, para enriquecer o processo construtivo e proporcionar a especificação de forma aderente, foi realizada uma rodada de exploração complementar, contendo entrevistas semiestruturadas e visitas técnicas em projetos regionais, nacionais e internacionais.

As visitas técnicas foram relevantes para o avanço, especialmente por conta de utilizar o Design Science Research (DSR) como metodologia, uma vez que o benchmarking realizado durante essas visitas permitiu ao pesquisador observar práticas inovadoras e eficientes que foram aplicadas em contextos similares e puderam ser incorporados em meio ao processo construtivo dos artefatos. Compreender como diferentes instituições abordaram a coleta e a análise de dados ambientais em nível estratégico, tático e operacional proporcionou insights que foram incorporados no desenvolvimento dos artefatos. Além disso, as experiências e trocas realizadas em outros contextos possibilitaram a identificação de lacunas e oportunidades de melhoria deste projeto, contribuindo para a fundamentação teórica e prática da pesquisa.

Nelas, foi possível interagir diretamente com profissionais da área, em diferentes níveis de atuação, facilitando a troca de conhecimento e a identificação de critérios de sucesso, pontos de falhas e melhores práticas. Essa interação contribuiu para o refinamento da entrega, validando as demandas reais do mercado e do meio acadêmico. Consequentemente, a integração de experiências internacionais e nacionais fortaleceu a tese de aplicabilidade dos artefatos na cidade de Caxias do Sul, campo delimitado no objetivo desta pesquisa.

As experiências fora do eixo regional mais relevantes e que trouxeram mais insights para o presente trabalho foram as visitas aos atores públicos e privados da cidade de Novo Mesto, na Eslovênia, que integra o Projeto VARCITIES (*Visionary Nature Based Actions For Health, Wellbeing & Resilience In Cities*) da União Europeia e a visita realizada ao Centro de Operações Rio (COR), na cidade do Rio de Janeiro. Além disso foram realizadas novas visitas nos departamentos de planejamento e segurança pública da prefeitura de Caxias do Sul.

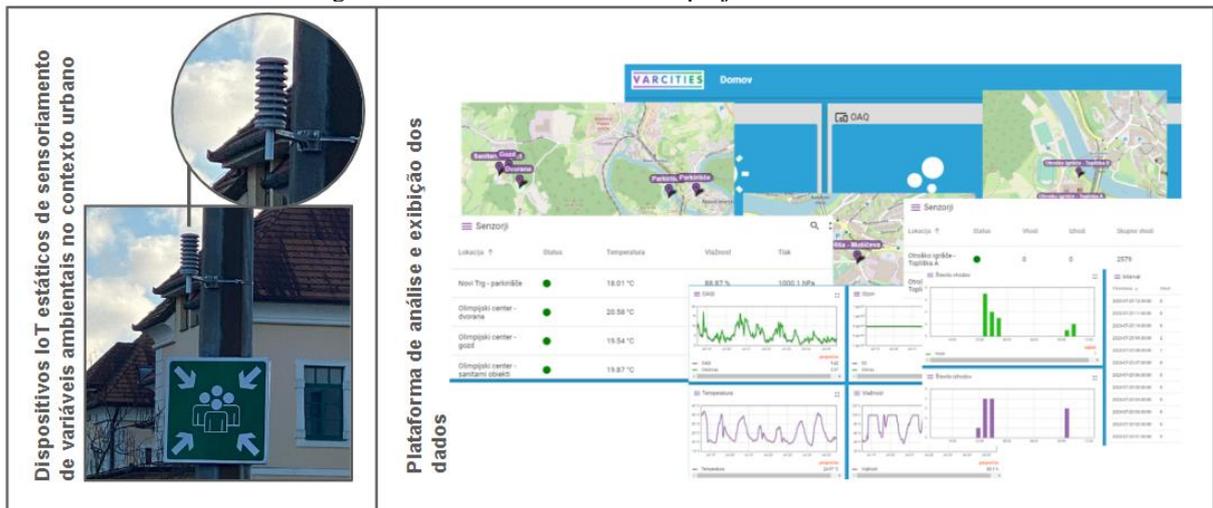
A visita ao projeto VARCITIES foi enriquecedora pois proporcionou vivenciar um projeto piloto em andamento no contexto europeu. Ele é uma iniciativa inovadora financiada pela União Europeia, que visa implementar ações no contexto ambiental em ambientes urbanos, reconhecendo a complexidade e as oportunidades que as cidades oferecem. O foco central do projeto é colocar o cidadão e as comunidades no cerne da visão para as cidades do futuro, promovendo a saúde e o bem-estar das pessoas. A iniciativa está fundamentada na cocriação de soluções inovadoras, que busca estabelecer modelos sustentáveis resilientes às condições

climáticas, contribuindo para um futuro mais saudável, criativo e inclusivo.

Os objetivos do VARCITIES versam sobre a promoção da inovação urbana com soluções baseadas nas dimensões digitais, sociais e culturais. O projeto envolve a implementação de ações em sete cidades-piloto, onde práticas inovadoras aplicadas ao contexto urbano estão sendo testadas. Financiado pelo programa Horizonte 2020 da União Europeia, o projeto é liderado pelo Instituto de Sistemas de Telecomunicações, em colaboração com 24 parceiros, incluindo universidades, centros de pesquisa e organizações internacionais e, para sua primeira fase, recebeu um aporte de 11 milhões de Euros. Durante a missão técnica presencial, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com os atores que conduziram as visitas. A experiência foi guiada por membros de instituições acadêmicas, órgãos públicos e empresas privadas que integram o projeto, em diversos pontos da cidade de Novo Mesto e Liubliana.

O roteiro da missão transcorreu com foco nas iniciativas em andamento, especialmente no recorte de coleta e análise de dados ambientais e urbanos por meio de sensores, evidenciando esforços em direções similares aos da presente tese, mas com desafios tecnológicos em contexto estático, conforme *Figura 28*. Ou seja, o delineamento do projeto VARCITIES não considerou os requisitos de coleta e plotagem dinâmica de espacialização dos dados por coordenadas geográficas e correlação com base de dados secundárias, que são requisitos tecnológicos mais complexos, adotados nesta pesquisa.

Figura 28 - Artefatos utilizados no projeto VARCITIES



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Com a visita ao VARCITIES foi possível reforçar a convergência e a relevância do presente projeto, uma vez que ambos têm potencial de ampliar o potencial de análise do contexto urbano. Os desafios inerentes ao alcance dos objetivos divulgados pelo projeto

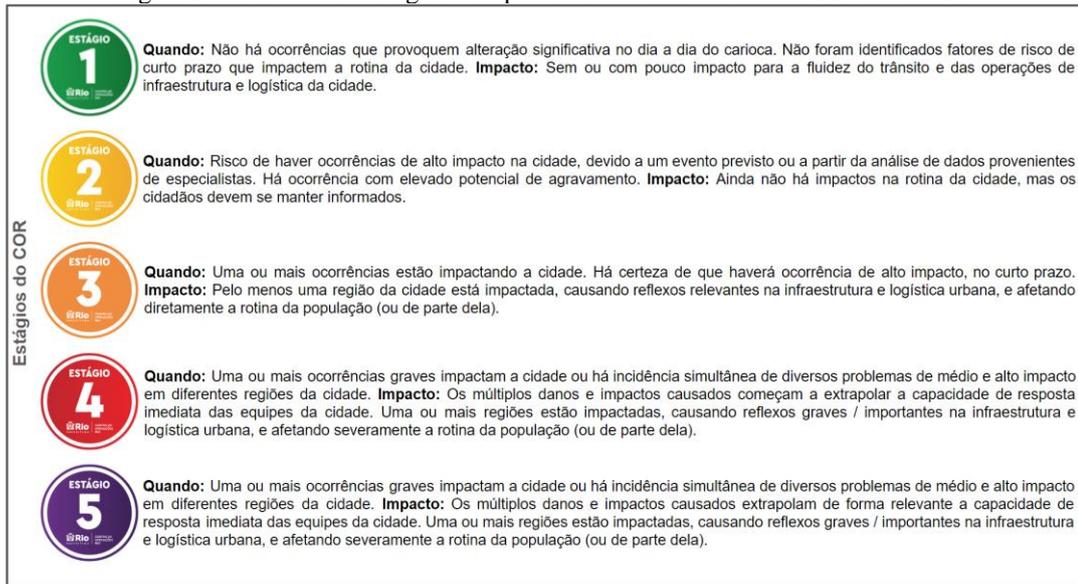
VARCITIES passa pela análise e cruzamento de múltiplas origens de dados, entretanto não realiza a coleta dinâmica, tampouco a análise destes dados em conjunto com dados secundários em plataforma unificada com o contexto GIS. Corroborando com a percepção de convergência entre os projetos, a questão de pesquisa da presente tese está diretamente associada com um dos objetivos do projeto VARCITIES: conceber soluções ambientais visionárias que contribuam para a construção de cidades futuras e para o bem-estar dos cidadãos.

De forma complementar, foi realizada uma missão ao Centro de Operações Rio (COR). O COR é uma estrutura inovadora que integra a gestão urbana da cidade do Rio de Janeiro, funcionando como um hub de informações em tempo real. Criado em 2010, o COR tem como objetivo centralizar dados de diversas naturezas e origens, como câmeras de vigilância, sensores ambientais, sistemas de transporte, informações de eventos e incidentes, entre outros, para otimizar a resposta a emergências e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

Com o intuito de aprofundar as práticas realizadas, realizou-se uma visita técnica guiada ao COR, seguida de uma entrevista semiestruturada coletiva com os agentes técnicos e administrativos. Dessa forma, deu-se o enriquecimento na compreensão teórica e empírica sobre a utilização intensiva e estratégica de dados ambientais em plataformas GIS, cruzando com bases secundárias também especializadas. Com as ferramentas utilizadas pelo COR, os gestores e operadores conseguem monitorar e distribuir informações e indicadores críticos para os cidadãos, governos, academia e empresas. A operação possui centenas de dados, de diferentes origens, com métodos de coletas variados e de naturezas distintas que requerem um esforço tecnológico e analítico para que se transformem em gatilhos para o acionamento de protocolos e processos de resposta realizados por múltiplas instituições, sempre orientados a proteção da vida humana e ao bem-estar dos cidadãos.

Na visita, foi possível compreender parte do processo metodológico e tecnológico envolvido na coleta e na utilização das variáveis ambientais, urbanas e meteorológicas e seu cruzamento com outras bases de dados secundárias. O COR possui resposta em tempo real e protocolos integrados que consideram, dentre centenas de outras variáveis, dados de qualidade do ar, níveis de poluição sonora, temperatura, umidade, níveis pluviométricos, potencial deslizamento de encostas, tráfego e câmeras de monitoramento. No recorte de dados advindos de sensores, o COR consome dados de múltiplas origens, advindos de dispositivos gerenciados por outras instituições públicas e privadas, com diferentes tecnologias de coleta, processamento e comunicação. Desta forma conseguem identificar geograficamente as áreas da cidade com ocorrência relevante, risco eminente ou potencial impacto na vida do cidadão e comunicar o status da cidade em tempo real por meio de cinco estágios, conforme *Figura 29*.

Figura 29 - Métrica de estágios e impactos do COR na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

A importância do COR se torna ainda mais evidente quando se considera a sua capacidade de engajar a população na gestão urbana. Um dos pilares do COR é a transparência das informações, portanto, através de plataformas digitais e da parceria com veículos de imprensa - que possuem um posto privilegiado dentro do COR de frente aos dashboards de operação - os cidadãos têm acesso a informações sobre os fatos relevantes da sua cidade, zonas e intensidade dos mais diversos tipos de impacto, conforme compilado de materiais da *Figura 30*.

Figura 30 - Conteúdo compartilhado diariamente nas redes sociais do COR



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Segundo os agentes que conduziram a visita, o canal aberto para a comunicação com a população intensifica a participação cívica. Essa abordagem não apenas fortalece a resiliência da cidade, mas também fomenta um senso de comunidade e responsabilidade compartilhada entre os cidadãos.

Nessa direção, o coração do COR são os dados, por meio de sua captura, análise e exibição ocorre toda sua operação, portanto as plataformas e dashboards assumem o protagonismo tecnológico, permitindo que os operadores e gestores de múltiplas áreas visualizem e monitorem indicadores críticos. Na sala principal de operações, estão alocados dezenas de profissionais de saúde, segurança, políticos, geólogos, administradores, cientistas, promotores de eventos, saneamento, coleta de resíduos, entre outros técnicos de outras secretarias, conforme *Figura 31*.

Figura 31 - Sala principal do COR



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

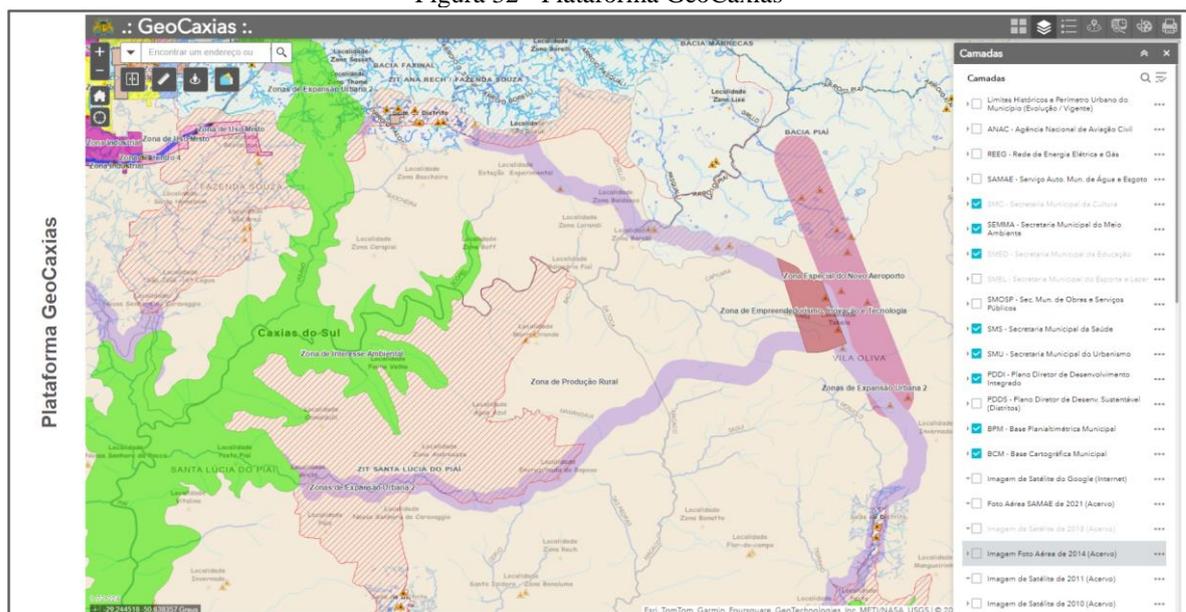
Em termos de processos, quando a cidade entra em estágios 4 e 5, a sede do COR se torna o ponto de controle do município do Rio de Janeiro, onde os comitês de crise são conduzidos. Inclusive há protocolo para que o prefeito passe a operar as ações de dentro do prédio, e na sua falta, um substituto. Assim, o COR se estabelece como um modelo de gestão urbana inteligente, que utiliza tecnologia e dados para enfrentar os desafios contemporâneos das grandes cidades,

promovendo um futuro mais sustentável e seguro para o Rio de Janeiro.

A vivência realizada no COR permitiu perceber a complementaridade da presente tese com o arcabouço tecnológico e metodológico do Centro de Operações principalmente no sentido de enriquecer as variáveis que compõe a análise de dados no contexto urbano com a adoção de dispositivos de coleta dinâmicos. Não foram evidenciados dispositivos dinâmicos de coleta de dados ambientais em uso pelo COR, que possibilitassem capturar os dados espacializados em movimento, apontando uma oportunidade de melhoria que pode ser relevante em uma metrópole com mais de 6 milhões de habitantes, uma vez que possibilitaria a capilaridade de leitura do ambiente urbano e a respectiva resposta a população com maior nível de granularidade geográfica. Tampouco foi possível observar a análise integrada de base de dados de pesquisas orientadas a satisfação do cidadão com a vida nas cidades.

Como forma de enriquecer e absorver informações adicionais sobre o contexto do estudo, foram realizadas visitas nos setores de planejamento e segurança pública da prefeitura de Caxias do Sul. Com isso, foi possível conhecer em detalhe as plataformas que são utilizadas e os dados que as compõe. No setor de planejamento, a plataforma que apresentou maior convergência com a pesquisa foi a GeoCaxias. A ferramenta, com seus dashboards, permite a interação com variáveis relevantes, como uso do solo, infraestrutura urbana, áreas de proteção ambiental e outros elementos, informações e serviços que influenciam e sustentam o planejamento e a gestão do território, conforme *Figura 32*.

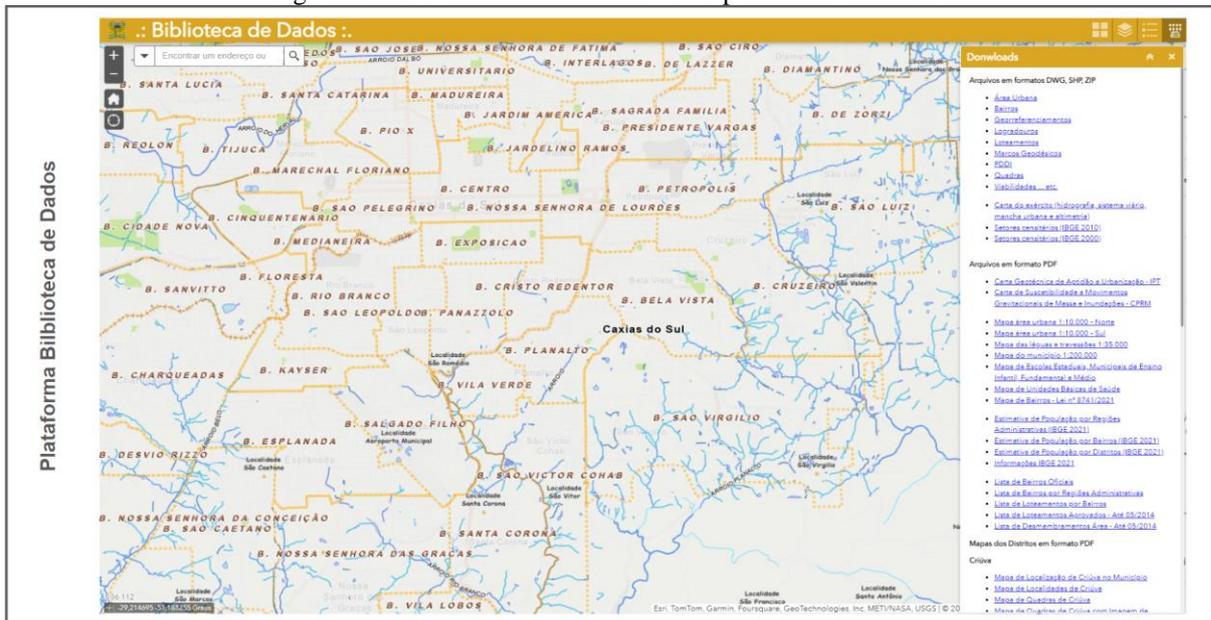
Figura 32 - Plataforma GeoCaxias



Fonte: GeoCaxias, Prefeitura de Caxias do Sul (2024).

O GeoCaxias utiliza a base GIS para o cruzamento e download de bases de dados de múltiplas áreas. Nela estão disponíveis camadas de informações segmentadas por agências, secretarias e outras origens. Com poucos cliques é possível habilitar e desabilitar a plotagem das informações disponíveis na plataforma e realizar o salvamento das informações em múltiplos formatos de arquivos, conforme. Ainda de forma complementar, a prefeitura possui uma plataforma adicional denominada Biblioteca de Dados, mais voltada para o download de informações, conforme *Figura 33*.

Figura 33 - Biblioteca de dados do município de Caxias do Sul



Fonte: Biblioteca de Dados, Prefeitura de Caxias do Sul (2024).

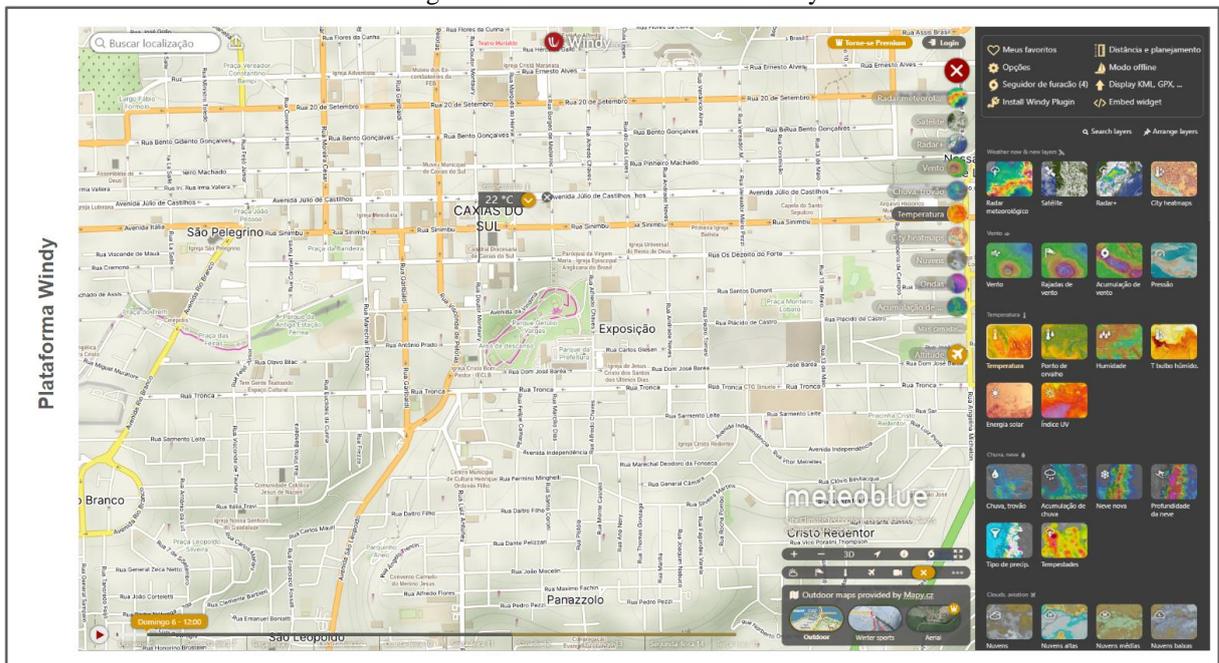
Ambas as soluções foram construídas na ferramenta ArcGIS que é uma plataforma de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desenvolvida pela empresa Esri, amplamente utilizada para a coleta, análise, interpretação e visualização de dados geoespaciais. Desde seu lançamento em 1969, o ArcGIS evoluiu para se tornar uma solução abrangente, integrando diversas ferramentas para modelagem de dados geográficos, análise espacial e criação de mapas dinâmicos. Com suas capacidades de automação e processamento em larga escala, o ArcGIS é empregado em diversas disciplinas, como planejamento urbano, gestão ambiental, resposta a desastres, saúde pública e recursos naturais, permitindo que pesquisadores e profissionais tomem decisões informadas baseadas em padrões geográficos.

De acordo com dados de uso, a Esri informa que o ArcGIS conta com mais de 300.000 usuários em todo o mundo, desde pequenas empresas a grandes organizações governamentais e acadêmicas. Essa ferramenta revela potencial de melhorar a eficiência dos processos de

análise espacial, e promover a integração de dados geográficos em processos de tomada de decisão nos mais variados contextos urbanos.

Além disso, ainda no recorte ambiental, dentro da plataforma GeoCaxias foi possível ter acesso a links que levam a ferramentas externas de ampla adoção mundial. Uma delas é a Windy, plataforma privada que apresenta dados de variáveis ambientais. A solução digital tem funcionalidades avançadas para monitoramento e previsão meteorológica, permitindo aos usuários interagir com dados atmosféricos, muitos deles, em tempo real. Entre as principais características, estão a capacidade de visualizar modelos de previsão meteorológica, qualidade do ar, radiação, correntes e rotas marítimas e condições climática, enriquecendo a análise das condições meteorológicas. Entretanto os dados das plataformas GeoCaxias e da Biblioteca de Dados não estão sincronizados com a Windy, reduzindo o potencial de cruzamento e análise conjunta. Além disso, na Windy não há dados granulares de informações especializadas e tampouco monitoramento de luminosidade e ruído, apenas macro indicadores meteorológicos, climáticos e atmosféricos, todos a nível de cidade, para a localidade de Caxias do Sul, conforme *Figura 34*.

Figura 34 - Plataforma mundial Windy



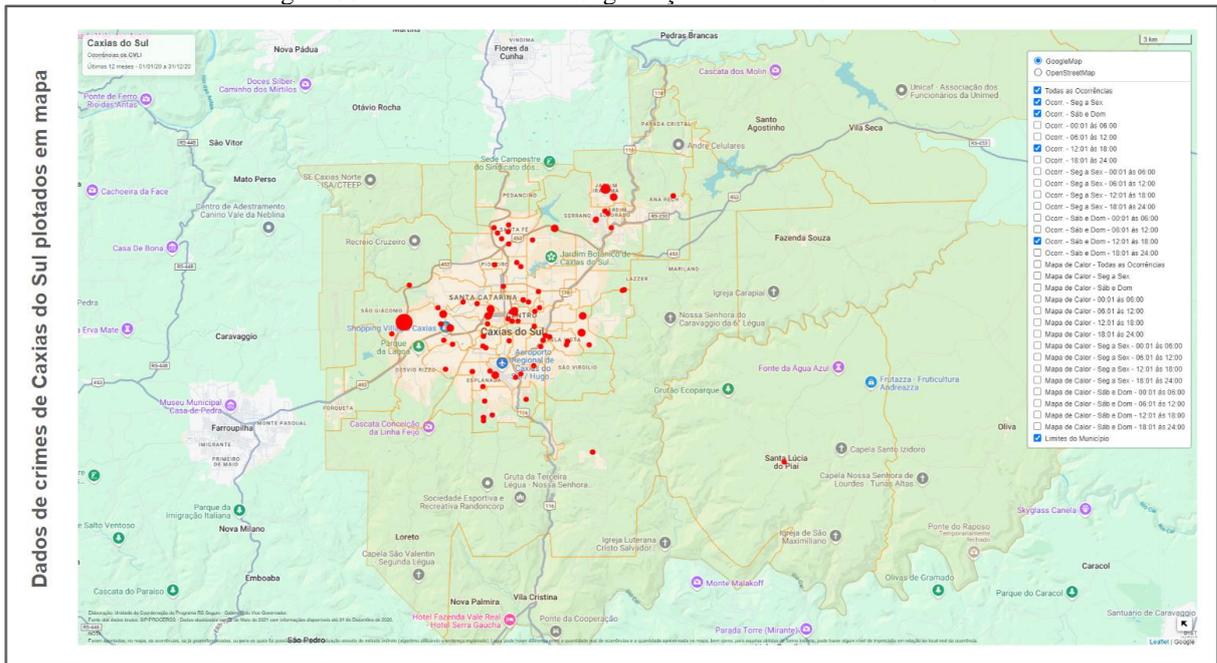
Fonte: Prefeitura de Caxias do Sul (2024).

Ambas as plataformas disponibilizadas pela secretaria de planejamento oferecem conteúdos relevantes, uma vez que os órgãos públicos, empresas privadas, instituições acadêmicas e científicas os cidadãos podem ter acesso a uma visão abrangente e interativa aos

dados de forma gratuita, fomentando a disseminação do conhecimento das informações urbanas sob as perspectivas meteorológicas, geográficas, atmosféricas, geopolíticas e de serviços públicos municipais.

Já no espectro das interações do pesquisador com a secretaria de segurança pública, por meio de um termo de cooperação com a presente tese e após a visita realizada, foi disponibilizado acesso a uma plataforma estática com dados reais plotados em mapas dos crimes realizados na cidade de Caxias do Sul em um recorte de tempo específico, conforme *Figura 35*. A elaboração da plataforma, é de responsabilidade da Unidade de Coordenação do Programa RS Seguro vinculado ao Gabinete do Governador. O programa é enquadrado como estruturante e tem por objetivo buscar soluções perenes para a melhoria contínua dos indicadores de criminalidade, contempla ações preventivas à violência, sendo premissa a atuação transversal entre as secretarias do estado e do município, sociedade civil e comunidade local.

Figura 35 - Base de dados de Segurança Pública de Caxias do Sul



Fonte: Secretaria da Segurança Pública do município de Caxias do Sul (2022).

O recorte da plataforma cedido não demonstrou o cruzamento dos dados dos crimes com outros dados secundários de nenhuma das plataformas utilizadas pela prefeitura. Tampouco, nesta plataforma foi possível evidenciar o uso de tecnologia para a coleta de dados, apenas para a plotagem dos pontos no mapa, por meio de uma ferramenta de mercado. Tal ferramenta,

denominada Leaflet é uma biblioteca JavaScript¹⁵ projetada para a criação de mapas interativos na web, permitindo a integração de dados geoespaciais em diversos formatos, como imagens de satélite e dados vetoriais. A biblioteca possibilita a adição de marcadores, pop-ups e a demarcação de áreas por meio de polígonos e pode ser integrada a outras bibliotecas e APIs¹⁶, facilitando a construção de aplicações complexas em visualização de dados geoespaciais.

Quando findada a rodada exploratória e de benchmarking com as soluções aplicadas, próximo passo foi consolidar uma lista de requisitos que considerasse os objetivos da presente pesquisa como plano principal para avançar na consolidação do artefato 2. Outro componente relevante foi a confirmação das bases de dados escolhidas. Elas foram sinérgicas, possíveis de serem conseguidas e convergentes com a satisfação do cidadão com a vida, por isso puderam estimular a experimentação em contexto similar ao real.

Nesse sentido, todos os requisitos listados foram, ao menos, parcialmente atendidos, conforme *Quadro 12*.

Quadro 12 - Requisitos do artefato 2

Sigla	Requisito	Atendido?	OBS
R1	Estar disponível em nuvem.	Sim	
R2	Permitir visualização e plotagem em mapas (GIS).	Sim	
R3	Permitir manipular volume superior a dois milhões de dados, com boa performance.	Sim	
R4	Permitir o uso de poligonais para delimitação de bairros.	Sim	
R5	Permitir a integração e o manuseio das bases de dados de segurança pública, pesquisa de satisfação do cidadão com a vida, dados coletados pelos sensores e dados do IBGE.	Sim	
R6	Permitir filtrar os dados por dia, mês, ano, dia da semana, hora, turno, bairro.	Parcial	Limitação técnica em alguns filtros
R7	Permitir coleta automática de dados em tempo quase real.	Parcial	Requer plugin com custo adicional inviável
R8	Permitir a visualização dos dados consolidados por dimensão em camadas sobrepostas, contemplando adoção de shapefiles ¹⁷ .	Sim	
R9	Permitir visualizar dados selecionados em gráficos dinâmicos de medidor radial e gráficos de radar responsivos aos filtros.	Parcial	Não foi possível receber o gráfico radar.
R10	Permitir exportar os dados filtrados e selecionados em arquivo de planilha editável.	Sim	
R11	Hospedar em ambiente gratuito.	Parcial	Limitação de tamanho e espaço.
R12	Permitir o acesso público.	Parcial	Temporário, vinculado a compra de licença.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

¹⁵ biblioteca JavaScript são funções prontas que facilitam a construção de sistemas pois estão disponíveis para serem utilizadas pelos programadores.

¹⁶ API é um conjunto de regras que permite que aplicações digitais se comuniquem, facilitando a integração de funcionalidades e o compartilhamento e reutilização de dados de sistemas diferentes.

¹⁷ shapefile é um formato de arquivo geoespacial utilizado para armazenar dados vetoriais, representando geometria (pontos, linhas, polígonos) e atributos, amplamente usado em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O projeto seguiu com a busca e escolha de ferramentas de mercado compatíveis os requisitos listados, conforme *Quadro 13*. Ao final foi escolhido o ArcGIS, não somente pela alta compatibilidade com os requisitos, mas também ser a mesma plataforma utilizada pela prefeitura de Caxias do Sul, facilitando o consumo dos arquivos de camadas complementares, como bairros por exemplo.

Quadro 13 – Convergência das ferramentas de mercado com requisitos do artefato 2

Empresas	Diferenciais Principais	Site	Requisitos atendidos
ArcGIS	Amplas capacidades de análise, integração com várias fontes	arcgis.com	Total: R1, R2, R3, R4, R5, R8, R10. Parcial: R6, R7, R9, R11, R12.
QGIS	Software open-source, forte comunidade, personalização alta	qgis.org	Total: R2, R3, R4, R5, R6, R8, R9, R10
MapInfo Professional	Interface intuitiva, integração com várias fontes de dados	geograph.com.br	Total: R2, R3, R4, R5, R6, R8
GRASS GIS	Poderoso em análise geoespacial, open-source	grass.osgeo.org	Total: R2, R3, R4, R5, R6, R8
GeoServer	Servidor open-source para compartilhar dados espaciais	geoserver.org	Total: R1, R2, R4, R6, R10
Carto	Foco em visualização de dados, fácil de usar, integração web	carto.com	Total: R1, R2, R4, R5, R6, R7, R8, R10, R12
SAGA GIS	Focado em análise geoespacial, interface robusta	saga-gis.org	Total: R2, R3, R4, R5, R6, R8
Leaflet	Biblioteca JavaScript leve para mapas interativos	leafletjs.com	Total: R2, R10
Tableau	Business Intelligence com recursos de geolocalização	tableau.com	Total: R1, R2, R6, R10
Microsoft Power BI	Integração com Office, recursos de análise geoespacial	powerbi.microsoft.com	Total: R1, R2, R6, R10
Global Mapper	Eficiente manipulação de dados e ferramentas de análise	globalmapper.com	Total: R2, R3, R4, R5, R10
Geodjango	Framework Django para GIS, fácil integração com aplicativos web	djangoproject.com/	Total: R2, R4, R10
Luciad Fusion	Focado em processamento de imagens, análises avançadas	hexagon.com/products/luciadfusion	Total: R2, R3, R4
OpenStreetMap	Banco de dados aberto de mapas, colaboração de usuários	openstreetmap.org	Total: R1, R2, R12
FME	Integração de dados geoespaciais, transformação robusta	safe.com	Total: R4, R5, R6

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Após a escolha da ferramenta, foi solicitado auxílio a um programador com domínio técnico avançado da ferramenta. Este terceiro atuou de forma não remunerada, auxiliando em todas as demandas técnicas necessárias para a construção da plataforma no ArcGIS. Foi criada uma conta de usuário na modalidade gratuita da ferramenta, que possui limitação de recursos. As características desta conta gratuita que geraram impacto no atendimento das especificações, foram a limitação de 2GB de armazenamento, limite de 5 mapas e 10 camadas, restrição de funcionalidade de análise espacial e do recurso de dados em tempo real, conferindo o status de

atendimento “parcial” a alguns requisitos, mas não inviabilizando a construção do artefato.

Na sequência, em paralelo com a parametrização técnica da plataforma conduzida pelo profissional terceiro, foi realizada a preparação das bases de dados secundárias que foram integradas à plataforma. Os arquivos contendo a base da pesquisa de satisfação do cidadão com a vida na cidade, a base de dados com campos selecionados do censo do IBGE e a base de dados da segurança pública e tiveram sua higienização realizada. Para tanto, foram identificados e removidos registros contendo valores ausentes, e realizadas correções de inconsistências e erros tipográficos observados nas variáveis. A eliminação de duplicatas garantiu a integridade do conjunto de dados, assegurando que cada entrada fosse única.

Na mesma direção, foram realizados o ajuste e a primeira parte da transformação de dados, momento em que as variáveis foram convertidas para formatos padronizados e compatíveis entre si, foi necessário, por exemplo, transformar dados do tipo texto em dados do tipo data, também realizar a padronização e o ajuste da escala de variáveis numéricas. Durante esse processo, também foi realizada a checagem da conformidade com as diretrizes de segurança e privacidade, especialmente ao lidar com a base de dados de segurança pública pelo potencial de sensibilidade dos dados tratados, que trata sobre crimes ocorridos na cidade. Após uma conferência criteriosa em todas as bases, não foram evidenciadas necessidades de ação no sentido de anonimização ou de tratativa dos dados sob a perspectiva de privacidade e segurança, uma vez que todas os conjuntos de dados estavam livres de dados sensíveis e em conformidade com a LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados)¹⁸.

Além disso, pela limitação de licenciamento da plataforma ArcGIS somado à indisponibilidade de protótipos em condição de coleta, optou-se por tornar a base de dados advindas dos sensores em uma base estática, ou seja, abriu-se mão da plotagem em mapa em tempo real. Para facilitar o manuseio e racionalizar o uso dos recursos de nuvem e consequente melhoria de performance, optou-se por realizar a extração dos dados do banco de dados em nuvem em uma planilha de excel com a extensão “.XLSX” para ser tratado localmente à exemplo das demais bases. Com esta decisão, embora não houvesse captura e exibição de dados em tempo real, foram mantidas todas as variáveis da coleta, permitindo a simulação de funcionamento equivalente aos potenciais dados coletados tempo real e viabilizando o protótipo da plataforma.

A base de dados resultante do processo de coleta dos protótipos resultou em 241.025

¹⁸ A LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados) é uma legislação brasileira que regula o uso, coleta, armazenamento e compartilhamento de dados pessoais, garantindo direitos e proteção à privacidade dos cidadãos.

registros. Cada registro refere-se a um *payload*¹⁹ recebido. Todos os payloads foram desencapsulados, possibilitando popular as 14 colunas individualizadas com os dados de identificação da linha (Id), data e hora do servidor web (Data), identificação do dispositivo (Dispositivo), quantidade e sequência de coleta (Contagem), dados do sensor de temperatura (Temperatura), dados do sensor de umidade (Umidade), dados do sensor de luminosidade (Luminosidade), dados do sensor de ruído (Ruído), dados de partículas de Co2 (ECO2), dados de partículas suspensas (ETVOC), coordenadas geográficas de latitude (Latitude), coordenadas geográficas de longitude (Longitude), hora do dispositivo (Unix time) e os dados completos sem separação (Payload) resultando em uma tabela com 3.374.350 dados úteis, conforme imagem da *Figura 36*.

Figura 36 - Base de dados ambientais coletados pelo dispositivo IoT entregue no artefato 1.

	1	id	dados	data	device	contagem	temperatura	umidade	luminosidade	ruído	eco2	etvoc	latitude	longitude	unixtime
Banco de dados de variáveis ambientais coletados pelo artefato 1	241004	1972445	sirroteste_UCS_AMV-01	59	18.9	91.9	1415.8	98.9	400	0	-29.147340	-51.148333	1709541610	12.0	2024-03-04 08:4
	241005	1972446	sirroteste_UCS_AMV-01	56	18.9	91.9	1415.8	98.9	400	0	-29.148283	-51.146969	1709541625	12.0	2024-03-04 08:4
	241006	1972447	sirroteste_UCS_AMV-01	57	18.9	91.9	1439.4	109.8	400	0	-29.148943	-51.148155	1709541640	12.0	2024-03-04 08:4
	241007	1972448	sirroteste_UCS_AMV-01	58	19.0	91.7	1439.4	120.0	400	0	-29.149799	-51.149544	1709541655	12.0	2024-03-04 08:4
	241008	1972449	sirroteste_UCS_AMV-01	59	19.0	91.7	1439.4	120.0	400	0	-29.150446	-51.150490	1709541670	12.0	2024-03-04 08:4
	241009	1972450	sirroteste_UCS_AMV-01	60	19.0	91.7	2245.9	120.0	400	0	-29.150446	-51.150490	1709541685	12.0	2024-03-04 08:4
	241010	1972451	sirroteste_UCS_AMV-01	61	19.0	91.7	2245.9	120.0	400	0	-29.150446	-51.150490	1709541700	12.0	2024-03-04 08:4
	241011	1972452	sirroteste_UCS_AMV-01	62	19.0	90.7	2245.9	109.5	400	0	-29.155308	-51.152962	1709541715	12.0	2024-03-04 08:4
	241012	1972453	sirroteste_UCS_AMV-01	63	19.0	90.7	2245.9	109.4	400	0	-29.156269	-51.153610	1709541730	12.0	2024-03-04 08:4
	241013	1972454	sirroteste_UCS_AMV-01	64	19.0	90.7	2566.1	109.3	400	0	-29.156370	-51.155750	1709541745	12.0	2024-03-04 08:4
	241014	1972455	sirroteste_UCS_AMV-01	65	19.0	90.0	2566.1	107.7	400	0	-29.156792	-51.157246	1709541760	12.0	2024-03-04 08:4
	241015	1972456	sirroteste_UCS_AMV-01	66	19.0	90.0	2566.1	120.0	400	0	-29.158165	-51.158241	1709541775	12.0	2024-03-04 08:4
	241016	1972457	sirroteste_UCS_AMV-01	67	19.0	90.0	2710.0	120.0	400	0	-29.159683	-51.158669	1709541790	12.0	2024-03-04 08:4
	241017	1972458	sirroteste_UCS_AMV-01	68	19.0	90.0	2710.0	91.0	400	0	-29.159807	-51.158707	1709541805	12.0	2024-03-04 08:4
	241018	1972459	sirroteste_UCS_AMV-01	69	19.0	89.9	2710.0	98.6	400	0	-29.160452	-51.158562	1709541820	12.0	2024-03-04 08:4
	241019	1972460	sirroteste_UCS_AMV-01	70	19.0	89.9	2348.6	108.1	400	0	-29.160845	-51.157352	1709541835	12.0	2024-03-04 08:4
	241020	1972461	sirroteste_UCS_AMV-01	71	19.0	89.9	2348.6	105.4	400	0	-29.160910	-51.155499	1709541850	12.0	2024-03-04 08:4
	241021	1972462	sirroteste_UCS_AMV-01	72	19.0	90.1	2348.6	98.1	400	0	-29.161930	-51.155308	1709541865	12.0	2024-03-04 08:4
	241022	1972463	sirroteste_UCS_AMV-01	73	19.0	90.1	2348.6	94.7	400	0	-29.162378	-51.155022	1709541880	12.0	2024-03-04 08:4
	241023	1972464	sirroteste_UCS_AMV-01	74	19.0	90.1	2880.5	94.8	400	0	-29.162378	-51.155022	1709541895	12.0	2024-03-04 08:4
	241024	1972465	sirroteste_UCS_AMV-01	75	19.0	90.1	2880.5	120.0	400	0	-29.162378	-51.155022	1709541910	12.0	2024-03-04 08:4
	241025	1972466	sirroteste_UCS_AMV-01	76	19.1	89.7	2880.5	120.0	400	0	-29.163338	-51.151096	1709541925	12.0	2024-03-04 08:4
	241026	1972467	sirroteste_UCS_AMV-01	77	19.1	89.7	2881.7	120.0	400	0	-29.163305	-51.149746	1709541940	12.0	2024-03-04 08:4

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Finalmente, os dados preparados foram compilados nos formatos adequados, em acordo com seus formatos originais, sendo eles “CSV” e “XLSX”. Com a execução desses processos, obteve-se conjuntos de dados adequados e representativos para a integração na plataforma, conforme a *Tabela 2*.

¹⁹ Payload é o conjunto de dados enviados por dispositivos para a nuvem ou servidores, contendo informações específicas sobre sensores ou eventos monitorados.

Tabela 2 – Compilado de dados alimentados no artefato 2

Origem dos dados	Período dos dados	Qtd de variáveis	Variáveis selecionadas	Qtd de registros	Qtd de dados
Dados ambientais coletadas pelos protótipos (sensores)	de 03/11/23 até 04/03/23	9	Data/Hora, temperatura, umidade, luminosidade, ruído, ECO2, Etvoc, Latitude, Longitude	241.025	2.169.225
Dados do XIII Recenseamento Geral do Brasil - Censo do IBGE	2010 e 2022	10	Total de pessoas, total de domicílios, total de domicílios privativos, total de domicílios coletivos, média de pessoas nos domicílios privados ocupados, % de pessoas nos domicílios privados ocupados, total de domicílios privados ocupados, renda e alfabetizados, setor censitário.	172	1720
Pesquisa de satisfação dos cidadãos com a vida nas cidades do City Living Lab	de 2018 até 2022	16	Bairro, satisfação com o bairro, satisfação com a saúde, prática de atividade física, satisfação financeira, satisfação com atividade comercial, satisfação com qualidade do ar, satisfação com ruído, satisfação com espaços de lazer, satisfação com coleta de lixo, satisfação com distância da parada de ônibus, satisfação com qualidade das paradas de ônibus, satisfação com acesso aos locais importantes da cidade, sentimento de segurança, sentimento de confiança nas pessoas, satisfação com tratamento de esgoto.	717	11.472
Base de dados de segurança pública da Secretaria Municipal de Segurança Pública	de 20/08/19 até 30/09/21	1	Incidentes agrupados (Data/Hora, tentativa de roubo, roubo, tentativa de homicídio, homicídio, endereço)	4947	4947
Total de variáveis: 36		Total de registros: 246.221		Total de Dados: 2.187.364	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

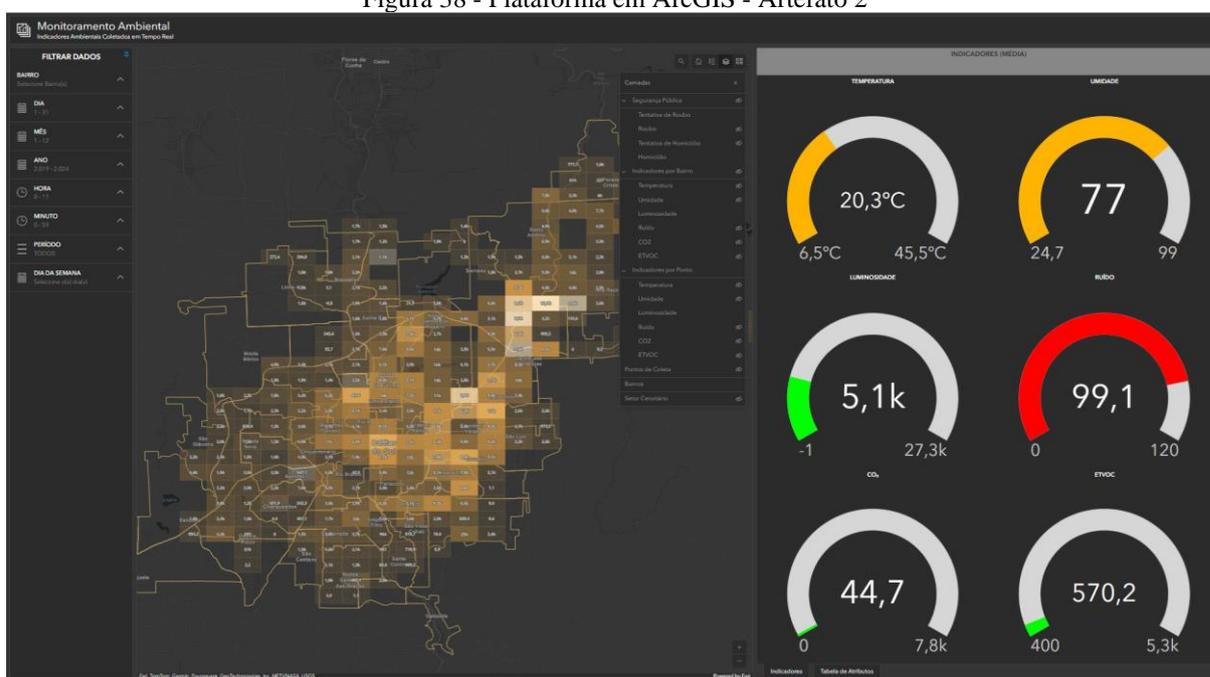
No mesmo sentido, a *Figura 37* representa visualmente o agrupamento de todas as bases que foram utilizadas para a construção do artefato 2.

o uso do protótipo veio acompanhado de sua respectiva coordenada geográfica, assim, além de permitir sumarizar por bairro, permitiu também imprimir os pontos exatos das coletas no mapa.

No mesmo sentido e de modo complementar, a granularidade obtida com a coleta dos dados georreferenciados dos sensores permitiu aplicar uma técnica geoestatística específica de interpolação geoespacial denominada krigagem. Essa abordagem é utilizada para estimar valores em locais não amostrados com base em valores conhecidos em pontos próximos e considera a autocorrelação espacial, ou seja, a ideia de que pontos próximos tendem a ser mais similares do que aqueles afastados, permitindo robustez metodológica estatística em contexto geoespacial. A plataforma utiliza a krigagem como uma função da própria ferramenta, que assume que a média da distribuição de dados é constante ao longo do espaço.

Com a etapa de transformação concluída, iniciaram-se os ciclos de integração dos dados à plataforma e o desenvolvimento do layout, dos filtros e dos gráficos. A cada ciclo de planejado, desenvolvido e validado surgiam novos avanços e a plataforma se consolidava também enquanto contribuição material, conforme *Figura 38*.

Figura 38 - Plataforma em ArcGIS - Artefato 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Dessa forma, e com o resguardo assegurado pelo método, foi estabelecida a entrega final da primeira plataforma atendendo parcialmente, a todos os requisitos listados. Para aprimorar a entrega, em comum acordo entre o voluntário e o pesquisador, foi iniciado o desenvolvimento de outra plataforma que pudesse entregar funcionalidades de análise complementar em menor

espaço de tempo e com menor esforço. As principais funcionalidades que não foram desenvolvidas no ArcGIS foram o gráfico de radar e a possibilidade de exportação de dados selecionados e previamente filtrados a partir da nova plataforma.

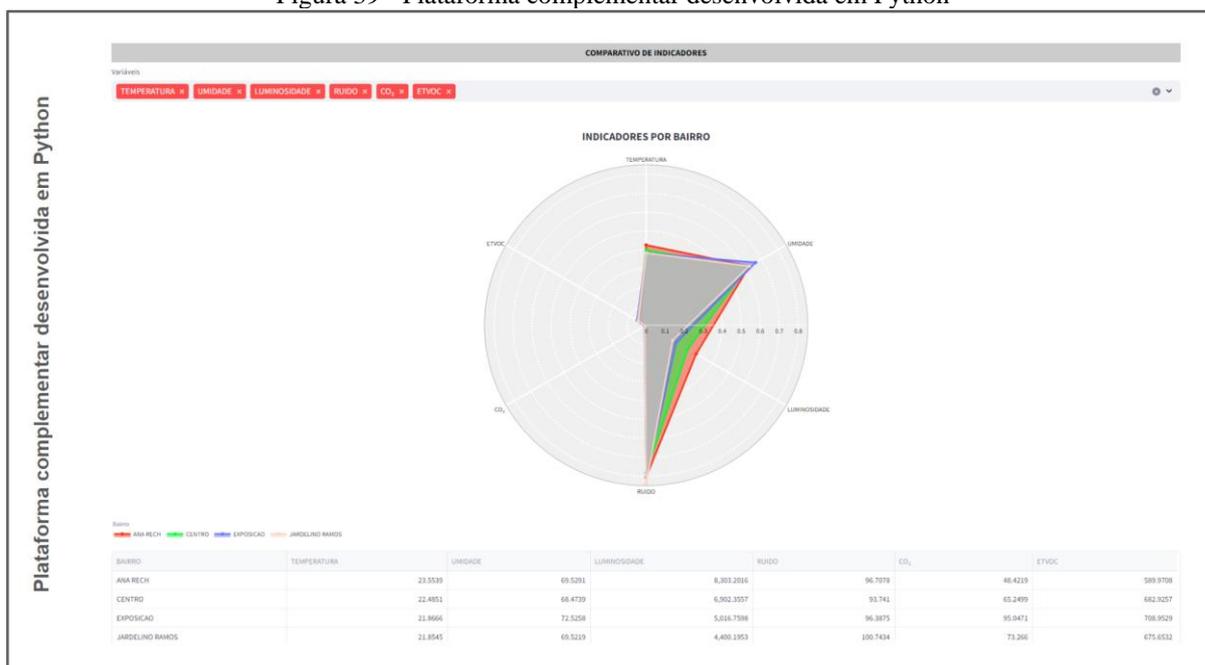
Nessa direção, a plataforma complementar, devido aos atrasos impressos pelo cronograma e o alto grau de contribuição material e imaterial em que o projeto se encontrou, teve seu desenvolvimento realizado sob as mesmas premissas da plataforma em ArcGIS, vislumbrando a complementaridade das funcionalidades não implementadas no ArcGIS. A diretriz assumida para o avanço construtivo desta nova plataforma foi facilidade e rapidez de construção. Para tanto, o artefato complementar foi desenvolvido em linguagem de programação Python²⁰.

A nova plataforma utilizou as mesmas bases de dados previamente tratadas. Além disso, foi possível aumentar a eficiência da codificação utilizando bibliotecas que facilitaram o desenvolvimento. A hospedagem da nova plataforma também se deu de forma gratuita e em nuvem em uma ferramenta chamada Streamlit²¹. Novos ciclos iterativos foram realizados para garantir que as funcionalidades desenvolvidas atendessem plenamente os requisitos mapeados. Por fim, a nova plataforma, sustentada pela diretriz de não substituir o artefato em ArcGIS, e aportar funções complementares, permitiu novos gráficos, modos de visualização dos dados e funcionalidades orientadas a aplicação de filtros, seleção e comparação de dados tabulares que a fizeram complementar os requisitos faltantes permitindo o encerramento do processo de desenvolvimento técnico dos artefatos, conforme *Figura 39*.

²⁰ Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada e de tipagem dinâmica, amplamente utilizada em diversas áreas, como desenvolvimento web, ciência de dados e inteligência artificial. Destaca-se pela simplicidade de sua sintaxe e pela extensa biblioteca padrão, promovendo um desenvolvimento rápido e eficiente.

²¹ Streamlit é uma biblioteca de código aberto para Python que permite a criação rápida de aplicativos web interativos e visualizações de dados. É especialmente utilizado para desenvolver dashboards e protótipos de projetos, facilitando a apresentação e interação com dados.

Figura 39 - Plataforma complementar desenvolvida em Python



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A consolidação do artefato 2 revelou um conjunto de contribuições materiais e imateriais. A validação da plataforma no ambiente de produção não apenas elevou o grau de viabilidade do Artefato como também possibilitou a síntese dos conhecimentos adquiridos ao longo de todos os ciclos de desenvolvimento da pesquisa. As plataformas construídas se apresentaram como ferramentas funcionais, em nível TLR7, para a análise de dados em contextos urbanos. Combinando tecnologias contemporâneas e integrando informações ambientais e sociais que, em sua totalidade, habilitaram a exploração analítica de um banco de dados heterogêneo georreferenciado a todos os atores da hélice que queiram fazer uso. A pesquisa, ponta a ponta, desde a construção de um dispositivo IoT dinâmico de coleta de dados ambientais até a implementação das plataformas de visualização dos dados no conceito GIS, operacionalizada segundo o protocolo DSR, propiciou entendimento aprofundado sobre a integração de tecnologias IoT com sistemas de informação geográfica, destacando os desafios e soluções enfrentados durante o desenvolvimento iterativo. A documentação dos conceitos e processos utilizados possibilitou habilitar a replicação do estudo em contextos semelhantes, ampliando a base de conhecimento disponível sobre o uso de IoT na gestão urbana.

Além disso, a pesquisa contribuiu, oferecendo um modelo de referência que pode ser adotado por outras iniciativas nas cidades. No mesmo sentido, a geração de informações experimentais inéditas sobre a cidade de Caxias do Sul pode ser utilizada como apoio a tomada de decisões em políticas públicas, uma vez que a concepção dos artefatos ofereceu potência

analítica ao ampliar a quantidade e diversidade de variáveis, permitindo a integração e a geoespacialização de dados multidimensionais, habilitando estudos em níveis de granularidade pouco convencionais.

De forma complementar, a inclusão de uma base de dados que considera a percepção da satisfação do cidadão viabilizou com a vida na cidade permitiu que a plataforma se tornasse uma ferramenta central para o protagonismo cidadão no contexto de cidades inteligentes. Ao consolidar dados subjetivos sobre a qualidade de vida em uma única plataforma de análise, a entrega estimula que as vozes dos cidadãos sejam integradas no processo de planejamento urbano, influenciando diretamente as decisões políticas e administrativas sobre o futuro das cidades contribuindo com práticas inovadoras no eixo da centralidade cidadã no contexto de formulação de políticas públicas em cidades inteligentes.

No mesmo sentido, a acessibilidade aos artefatos, de forma pública e gratuita, não apenas empodera os cidadãos, mas também incentiva o debate público, permitindo que a comunidade se tornasse um agente ativo na identificação de problemas e na proposição de soluções para questões urbanas. Ao possibilitar correlacionar dados objetivos, como aqueles provenientes dos dispositivos IoT, com as percepções subjetivas dos cidadãos, a pesquisa ofereceu recursos para a transformação do ambiente onde as políticas públicas podem refletir as necessidades reais da população, ampliando o diálogo democrático, a participação ativa e o engajamento cívico, componentes-chave de conceitos de cidades inteligentes orientadas ao cidadão. Não somente no espectro de empoderar o cidadão com seus direitos, mas também no sentido de perceber seus deveres para com o meio ambiente, a entrega dos artefatos traz luz à conscientização sobre questões ambientais e pode incentivar a participação comunitária na discussão e na promoção de práticas urbanas sustentáveis.

Portanto, a pesquisa não permitiu somente a validação dos modelos teóricos criados e a identificação de melhores práticas em coleta e análise de dados, como também consolidou o conhecimento na área e estabeleceu novas diretrizes para futuras pesquisas em cidades inteligentes, evidenciando a viabilidade teórico-prática de uma abordagem de cidade inteligente centrada no cidadão. Por fim, a pesquisa estabeleceu um caminho para a colaboração entre ciência e sociedade, criando um espaço propício para o desenvolvimento de soluções urbanas mais sustentáveis, apresentando uma contribuição significativa para o campo das *smart cities*.

4.4 CASOS DE USO - MODELOS DE APLICAÇÃO

Os resultados dos artefatos entregues pela presente tese possuem potencial de uso

voltado a informação dos cidadãos e instituições, na formulação de políticas públicas, na gestão operacional da cidade e no desenvolvimento de novos trabalhos científicos.

O primeiro artefato, originou o protótipo de dispositivo IoT para captação dinâmica de dados ambientais georreferenciados por meio de sensores. Ele foi concebido para a utilização em movimento, não necessariamente em veículos automotores, mas em qualquer objeto que se mova na superfície urbana. Ainda que atenda ao requisito de coleta em movimento, o dispositivo pode ser utilizado de forma estática, acoplado em ambientes internos ou externos. O protótipo, individualmente, apresenta um potencial significativo para a captação dinâmica de dados ambientais georreferenciados. Como são equipados com sensores de iluminação, umidade, temperatura, ruído, CO₂ e partículas suspensas, podem atuar como uma rede de coleta de informações em movimento, permitindo a criação de um painel abrangente e em tempo real sobre as condições ambientais da cidade (MIRANDA *et al.*, 2024).

No mesmo sentido, as plataformas concebidas como segundo artefato, viabilizaram o cruzamento dos dados de diversas origens, utilizando o plano urbano como alicerce das análises. Com ela, é possível realizar análises multidimensionais, incluir novas bases de dados e extrair informações combinadas e filtradas, estabelecendo contextos de análise de múltiplas naturezas. Além disso, novas camadas de tecnologias podem ser integradas ao artefato, como modelos preditivos utilizando inteligência artificial e aprendizado de máquina, possibilitando automatizar alertas e disparar fluxos de processos e protocolos para os cidadãos e instituições (SEKHAR; AHMED; SIDDESH, 2024).

O esforço na padronização da unidade de análise por bairro de todas as bases de dados, combinado com a manutenção das coordenadas geográficas precisas nas variáveis possíveis, possibilitaram a aplicação de técnicas de geoestatísticas em alguns dados. Enquanto a análise estatística convencional se concentra em dados independentes e na inferência de propriedades populacionais através de amostras, a geoestatísticas dá ênfase ao agrupamento e contraste de dados na sua variação espacial e temporal (DA CASTRO *et al.*, 2010; PEIXOTO *et al.*, 2024). A consideração da autocorrelação e da dependência espacial na geoestatística permitiu uma melhor modelagem da variabilidade geográfica no caso desta pesquisa, levando em conta a influência da localização na arquitetura dos dados. Esta distinção é crucial, pois determina não apenas a abordagem metodológica, mas também o tipo de interpretação e insights que podem ser extraídos (CRESSIE, 1993; JOURNAL; HUIJBREGTS, 1978). Portanto, ao utilizar e habilitar a análise geoestatística, a plataforma viabiliza a capacidade de compreensão urbana espacializada e potencializa respostas a desafios contemporâneos.

Com os artefatos e os dados resultantes da pesquisa, é possível enriquecer o

conhecimento e revelar novos fatores de influência nos estudos de fenômenos urbanos. Isso porque a plataforma integra dados de diferentes dimensões e permite adicionar novos elementos na análise urbana. A correlação entre o nível de iluminação e a segurança pública é bem documentada, indicando que ambientes mais iluminados tendem a aumentar a sensação de segurança do cidadão (SVECHKINA; TROP; PORTNOV, 2020), por exemplo. Com o uso da plataforma, é possível ampliar o contexto dessa análise, adicionando novas variáveis com dados de densidade populacional, criminalidade, renda, satisfação do cidadão em termos de sentimento de segurança e plotando essas informações em mapa segregado por bairros e horários específicos.

Com isso, é possível que os cidadãos revisitem sua visão da cidade com base em dados e, ainda, gestores públicos identifiquem áreas potencialmente perigosas que necessitam de intervenções. A atuação pode ser por meio de políticas que reforçam o contingente de forças públicas de segurança em determinados horários e locais, aumento da iluminação pública, poda de árvores, instituição de câmeras de monitoramento em determinados locais, projetos que fomentem o senso de pertencimento em determinados locais, revisão do planejamento urbano quanto à utilização do espaço público, iniciativas de fomento ao empreendedorismo para a geração de emprego e renda, dentre outras ações que podem ser sustentadas com a análise dos dados (BUI, 2024; RADZISZEWSKA, 2023; SARKER, 2022).

Para viabilizar o processo, as plataformas permitem que sejam realizados cruzamentos e comparativos de dados com composição de diferentes filtros, camadas, dados, formas de exibição, ampliando os potenciais de análise, conforme as *Figuras 40 e 41*.

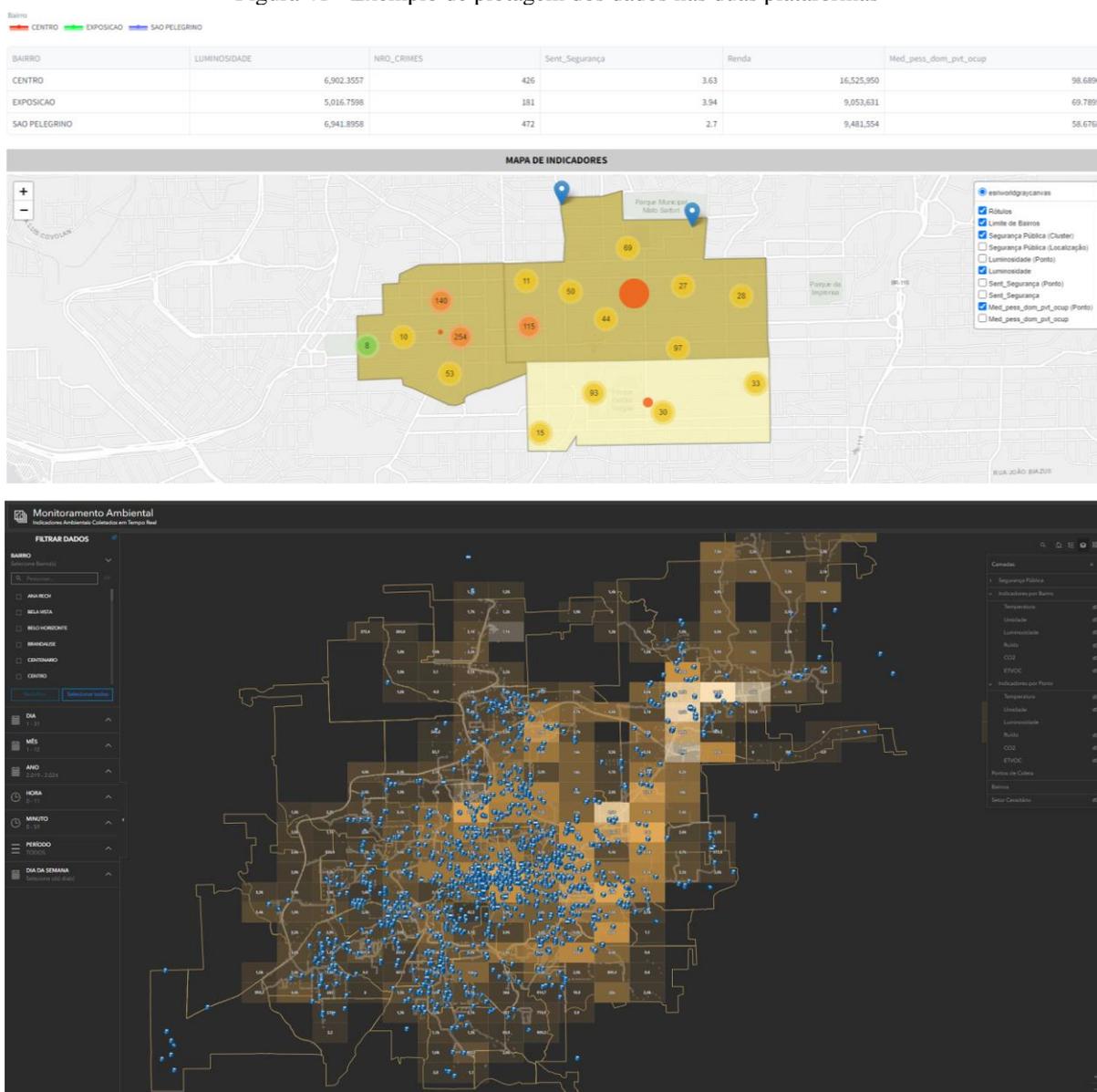
Figura 40 - Filtros da plataforma complementar

The image shows a screenshot of a web interface titled "MONITORAMENTO AMBIENTAL EM TEMPO REAL". It features a "FILTROS" section with the following elements:

- Bairro(s):** A horizontal list of selected neighborhoods: CENTRO, SAO PELEGRINO, and EXPOSICAO.
- Período(s):** A dropdown menu with the text "Escolha uma opção".
- Dia(s) da Semana:** A dropdown menu with the text "Escolha uma opção".
- DATA E HORA INICIAL:** A date and time selector for the start of the period, showing Dia: 1, Mês: 1, and Ano: 2023. Below this, there are fields for Hora: 0 and Minuto: 0.
- DATA E HORA FINAL:** A date and time selector for the end of the period, showing Dia: 31, Mês: 12, and Ano: 2024. Below this, there are fields for Hora: 23 and Minuto: 59.
- COMPARATIVO DE INDICADORES:** A section titled "Variáveis" with a horizontal list of selected indicators: LUMINOSIDADE, NRO_CRIMES, Sent_Segurança, Renda, and Med_pess_dom...

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 41 - Exemplo de plotagem dos dados nas duas plataformas

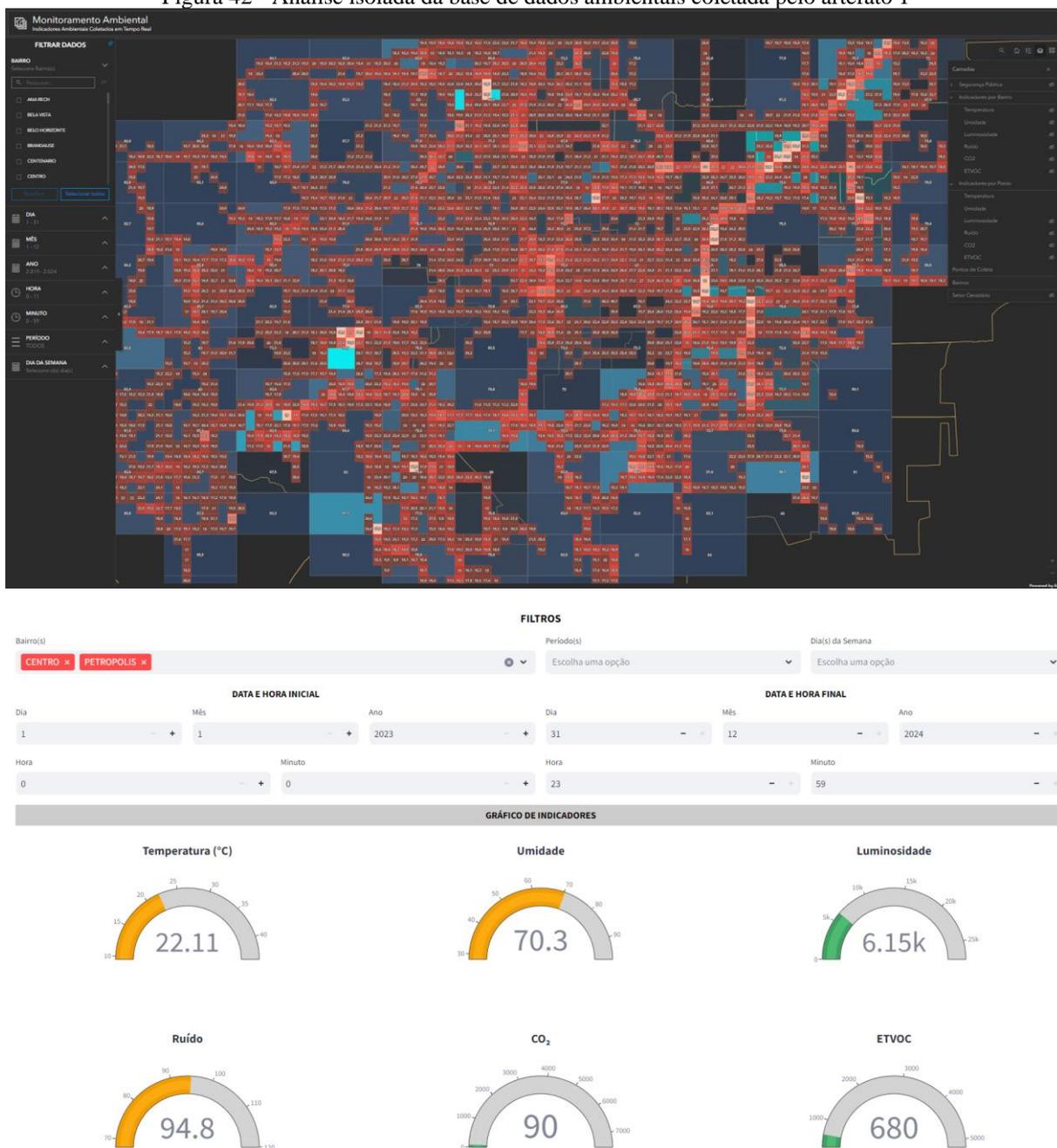


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por outro lado, a análise restrita às variáveis ambientais, sem o cruzamento com bases secundárias, na granularidade e método geostatístico proposto pela presente pesquisa, também revela potencial enriquecimento da compreensão da dinâmica urbana (NILAM NARAYAN DHAGE, 2023) em áreas como a saúde, por exemplo. As informações georreferenciadas de umidade e temperatura, capturadas por sensores, ajudam a mapear microclimas urbanos (FAYDI; ZRELLI; EZZEDINE, 2023; KOZARIK *et al.*, 2022), conforme a *Figura 42*. Essa informação é relevante para os cidadãos fazerem suas escolhas no uso da cidade, tanto em relação a habitação quanto no planejamento de suas atividades físicas, profissionais, passeios etc. Também entrega valor ao planejamento urbano, pois permite prever como diferentes áreas

respondem a eventos climáticos e aos efeitos da poluição (WU; XIE; LYU, 2023). Nesse sentido, a interação entre temperatura e umidade pode influenciar a saúde pública, não somente no que diz respeito às reações aos poluentes, mas também seus índices combinados podem propiciar a proliferação de doenças transmitidas por vetores, ressaltando a importância de um gerenciamento proativo da saúde pública com base em dados (KATSIDIMAS *et al.*, 2023).

Figura 42 - Análise isolada da base de dados ambientais coletada pelo artefato 1



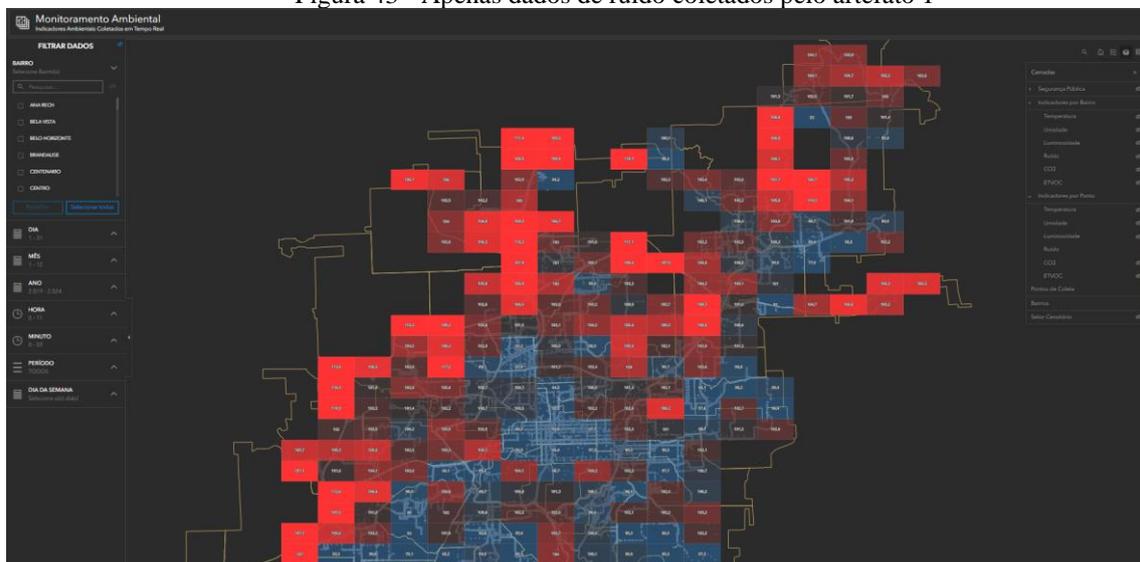
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nessa direção, o acesso aos dados desse contexto, de forma especializada, pode

subsidiar a revisão e criação de protocolos de saúde aplicados aos eventos de calor ou frio extremos bem como embasar a revisão de arborização da cidade, ampliação de praças e parques, adequação de políticas de mobilidade e transporte, revisão de políticas em distritos industrializados, fomentar a aquisição de bebedouros e equipamentos de geração de vento e umidificação de ar em locais abertos e climatização em ambientes fechados além de iniciativas proativas e políticas públicas para a erradicação de vetores de doenças (BUI, 2024; KIM; WELLSTEAD; HEIKKILA, 2023; RADZISZEWSKA, 2023; SARKER, 2022).

Os dados de ruído também desempenham um papel relevante na análise das dinâmicas urbanas. A literatura científica aponta que a poluição sonora está associada a uma série de problemas de saúde, incluindo estresse, distúrbios do sono e até doenças cardiovasculares. Além disso, a variação sonora, em análises mais específicas, pode auxiliar na identificação de disparos de armas de fogo, na fiscalização do cumprimento legal dos horários de silêncio, na fiscalização de conformidade de veículos automotores, entre outras aplicações. A correlação entre níveis elevados de ruído e a incidência desses problemas em populações urbanas justifica a necessidade de inclusão desta medida nos espectros de variáveis analisadas pela cidade (KWOK *et al.*, 2023). Com as informações proporcionadas pelos artefatos em Caxias do Sul, conforme *Figura 43*, políticas públicas podem ser implementadas para mitigar os efeitos da poluição sonora, como a criação de zonas de silêncio e a revisão de padrões de tráfego e urbanização, atuação proativa em situações de perturbação do sossego, no combate à violência, visando o cumprimento das leis e diretrizes e a melhoria do bem-estar social, refletindo na qualidade de vida dos cidadãos (LIU; GU; WANG, 2024).

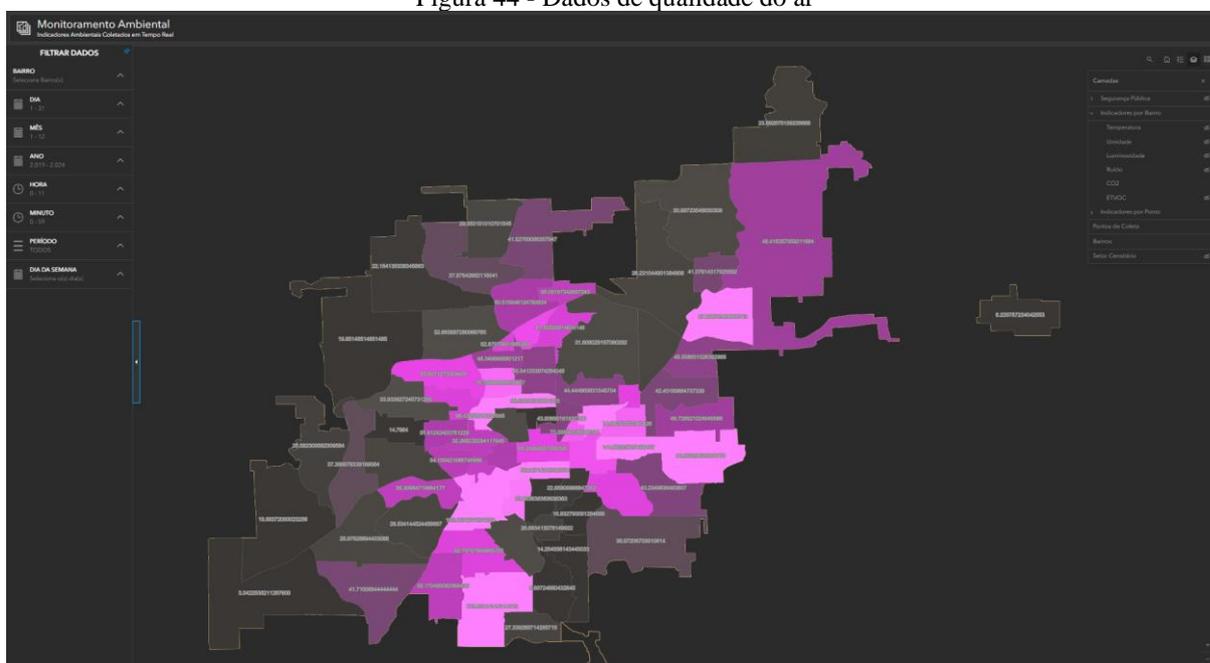
Figura 43 - Apenas dados de ruído coletados pelo artefato 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

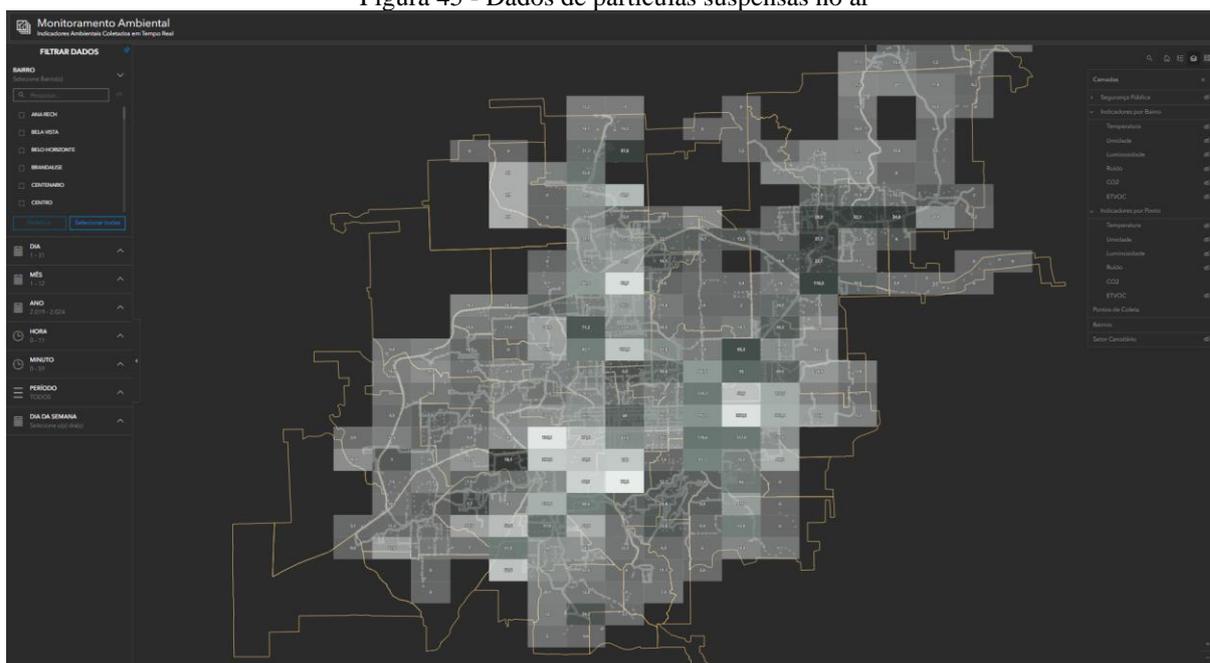
No mesmo sentido, a monitorização de níveis de CO₂ e partículas suspensas pode oferecer insights valiosos sobre a qualidade do ar (KATSIDIMAS *et al.*, 2023). Estudos demonstram que a exposição a altos níveis de poluentes atmosféricos está fortemente correlacionada com problemas respiratórios e diminuição da qualidade de vida. A análise espaço-temporal dessas variáveis fornece uma base sólida para a avaliação do impacto e criação de novas políticas de mobilidade e transporte, habitação, industrialização, permitindo ajustes nas estratégias de tráfego, incentivo ao uso de transportes alternativos como ciclovias e transporte público, refatoração e criação de políticas específicas para zonas industriais. Além disso, os dados de poluição, combinados com os dados de temperatura e umidade podem servir como fundamento para predição de problemas respiratórios, proporcionando análises que possam refletir em políticas de saúde pública e organização em relação ao atendimento de leitos, medicamentos e preparação da população para situações extremas (DHABLIYA *et al.*, 2023; KATSIDIMAS *et al.*, 2023). Com dados espacializados sobre a qualidade do ar, a gestão da cidade pode agir de maneira mais eficaz para promover um ambiente urbano saudável, equilibrando o desenvolvimento econômico com a preservação da saúde ambiental e humana, conforme *Figura 44 e 45*.

Figura 44 - Dados de qualidade do ar



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 45 - Dados de partículas suspensas no ar



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ainda sobre a qualidade do ar, a percepção do cidadão pode ser um importante componente para a transformação cultural da sustentabilidade das cidades, uma vez que a poluição nem sempre é perceptível, a opinião do cidadão pode não refletir os níveis medidos pelos sensores, gerando oportunidades para fomentar a discussão sobre o tema e conscientizar os cidadãos sobre os efeitos invisíveis da relação entre o comportamento humano e a qualidade da vida instituída em seu entorno (WU; XIE; LYU, 2023).

De forma complementar, as variáveis de densidade populacional podem auxiliar a entender a abrangência dos fenômenos polutivos em termos populacionais, provendo referências numérico-estatísticas para a tomada de ações de contorno e prevenção. O cruzamento desses dados permite relacionar a quantidade de pessoas em uma determinada área com a intensidade e a natureza da poluição que esses locais enfrentam. Dessa forma, a combinação de análises estatísticas da densidade populacional com informações sobre os níveis de poluição permite um planejamento urbano mais consciente e uma implementação de medidas preventivas que possam efetivamente minimizar os danos ambientais nas áreas mais afetadas. Como, por exemplo, incentivar a realização de campanhas educativas que visem reduzir a geração de resíduos e a poluição em áreas críticas, estimular o uso de energias e combustíveis renováveis, repensar o plano diretor em relação às áreas industriais etc.

Nesse sentido, o *Quadro 14* busca demonstrar uma parte das políticas e iniciativas que os dados individualmente podem subsidiar, entretanto, o potencial de análise é exponencial, uma

vez que a plataforma congrega e viabiliza a análise conjunta dos dados.

Quadro 14 – Exemplos de políticas de smart cities que em que os artefatos podem subsidiar dados

Variável	Descrição	Possíveis Políticas de <i>smart cities</i>
Iluminação	Nível de iluminação em áreas urbanas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melhorar a iluminação pública em áreas com baixa satisfação; 2. Implementar sistemas de iluminação inteligente que ajustam a luz conforme a hora ou o movimento; 3. Promover segurança em áreas frequentemente afetadas por crimes.
Umidade	Níveis de umidade do ar e sua relação com a saúde pública.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorar condições que aumentam doenças respiratórias; 2. Informar sobre o uso de sistemas de drenagem em áreas propensas a alagamentos; 3. Orientar o planejamento de áreas verdes para controle da umidade.
Temperatura	Medidas de temperatura em diferentes regiões da cidade.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criar estratégias de mitigação do calor urbano; 2. Planejar a localização de serviços de saúde em áreas afetadas por altas temperaturas; 3. Fomentar a construção de materiais de construção resilientes ao calor.
Ruído	Níveis de poluição sonora em diferentes bairros.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desenvolver regulamentações para controle de ruído; 2. Criar zonas de silêncio em determinadas áreas e horários; 3. Controlar e monitorar tráfego e veículos em áreas ruidosas.
CO2	Concentração de dióxido de carbono no ar.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer políticas de mobilidade sustentável; 2. Promover o uso de transporte público e condução não poluente; 3. Incentivar a gestão de resíduos para reduzir emissões de carbono;
Partículas Suspensas	Medição de poluentes atmosféricos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Implementar regulamentações mais rigorosas para indústrias; 2. Criar campanhas de conscientização sobre poluição do ar; 3. Criar alertas e protocolos de contaminação do ar;
Satisfação do Cidadão	Variáveis sobre a satisfação dos cidadãos com a vida na cidade.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Direcionar recursos para áreas com alta demanda e baixa satisfação; 2. Avaliar a efetividade de programas sociais existentes; 3. Criar mecanismos de feedback contínuo com a população; 4. Avaliar o uso e a adequação dos espaços públicos existentes; 5. Criar programas de conscientização e informação ao cidadão.
Base de Dados do IBGE	Dados demográficos e socioeconômicos da população.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Informar políticas de inclusão social; 2. Monitorar indicadores de desenvolvimento regional; 3. Identificar áreas com maior vulnerabilidade para alocação de recursos públicos.
Base de Dados de Segurança Pública	Dados sobre criminalidade e segurança nas cidades.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criar políticas de segurança pública baseadas em dados geoespaciais; 2. Implementar programas de prevenção ao crime em áreas com alta incidência; 3. Monitorar a eficácia das políticas de segurança existentes.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Por fim, a integração da base de dados ambientais georreferenciados com as bases secundárias, permite uma análise holística das dinâmicas urbanas em Caxias do Sul. A combinação de diferentes tipos de sensores viabiliza a criação de modelos preditivos que, em última instância, podem antecipar problemas antes que se tornem críticos (NILAM NARAYAN DHAGE, 2023; WANG, 2023; YAN *et al.*, 2023). Da mesma forma, contar com componentes

especializados, oriundos da percepção da satisfação do cidadão com a vida nas cidades, somados aos incidentes de criminalidade e aos dados do censo, amplia o potencial de estudo, imputando elementos pouco convencionais no espectro de análise conjunta (DHABLIYA *et al.*, 2023; WANG, 2023). Isso gera uma maior sinergia entre os cidadãos e a administração pública, uma vez que políticas públicas podem ser responder às necessidades reais da população, fundamentadas em evidências (ANTHOPOULOS; JANSSEN; WEERAKKODY, 2023; ISMAIL; KALACH; KLEIB, 2022; KUMAR, 2024). Portanto, ao potencializar a utilização de dispositivos IoT na captação de dados ambientais e integrar dados em plataformas GIS, Caxias do Sul se posiciona na vanguarda do desenvolvimento de *smart cities*, alinhando-se com as melhores práticas e diretrizes globais para a construção de ambientes urbanos mais sustentáveis e inclusivos.

4.5 DISCUSSÃO

Nesse capítulo, antes de aprofundar nas reflexões teóricas, cabe salientar os objetivos alcançados em termos de avanços empíricos, uma vez que a presente pesquisa possui compromisso com entregas de natureza orientada a construção de artefatos inovadores. Portanto, cabe salientar que todos os objetivos propostos para esta pesquisa foram atendidos de forma satisfatória. Ambos os artefatos chegaram em nível TLR7. O protótipo funcional de um dispositivo IoT dinâmico foi desenvolvido e avaliado, demonstrando sua capacidade de coletar dados ambientais georreferenciados em tempo real. Adicionalmente, foram criadas duas plataformas digitais que integram esses dados com bases de dados secundárias, possibilitando a compreensão mais ampla das dinâmicas urbanas de Caxias do Sul-RS. Essa integração oferece suporte direto à formulação de políticas públicas voltadas para a criação de *smart cities* centradas no cidadão, no sentido de completar o objetivo principal da pesquisa.

Na mesma direção, os objetivos específicos delineados também foram plenamente alcançados. O protótipo de IoT foi validado com sucesso, permitindo a captação de dados ambientais de forma dinâmica e georreferenciada por meio de sensores. Um sistema foi estabelecido para coletar, armazenar e disponibilizar os dados coletados de maneira eficaz. Bases de dados foram agrupadas e normalizadas para integrar as plataformas digitais, que habilitam a análise desses dados em conjunto com informações sobre a satisfação dos cidadãos. Por fim, foram evidenciados potenciais aplicações práticas dos artefatos desenvolvidos, reforçando sua relevância no contexto de cidades inteligentes centradas no cidadão.

Assim, a análise das dinâmicas urbanas de Caxias do Sul, neste estudo, baseou-se na

criação de artefatos inovadores, desenvolvidos para monitorar e entender o ambiente urbano em tempo real. Com o protótipo de IoT e as plataformas digitais implementadas, foi possível observar como fatores como poluição, temperatura, ruído e tráfego se distribuem pelo espaço urbano e impactam diretamente a qualidade de vida da população. A integração de dados coletados com bases secundárias permitiu uma compreensão mais ampla e profunda das características urbanas locais, fornecendo suporte concreto que poderia ser utilizado para a elaboração de políticas públicas que promovam cidades inteligentes e centradas no cidadão. O protótipo funcional de IoT demonstrou eficácia na captação de dados georreferenciados, oferecendo um panorama detalhado e em tempo real das condições ambientais. Esse avanço empírico permite não apenas o monitoramento, mas também a análise conjunta dos dados com as percepções dos cidadãos sobre qualidade de vida e segurança. Ao possibilitar a coleta, armazenamento e análise desses dados de forma integrada, o sistema criou uma infraestrutura sólida para intervenções urbanas baseadas em evidências, facilitando a implementação de ações eficazes e adaptadas às necessidades locais.

Mesmo com o protagonismo de natureza empírica dos artefatos, a aplicação do método DSR permitiu a integração da literatura científica com experiências práticas, corroborando com Moutinho (2024). Na mesma direção, o framework DSR adotado como base metodológica desta pesquisa pode ser replicado, confirmando a visão de Vaishnavi, Kuechler e Petter (2012) de que a DSR é um método rigoroso para construir e avaliar artefatos que solucionem problemas reais, gerando novas contribuições para o conhecimento. Ainda, foi possível realizar a sustentação metodológica de forma iterativa e adaptável, integrando diversas áreas do conhecimento. Nesse sentido, confirmam-se as ideias defendidas pelos autores, uma vez que a pesquisa apresentou relevância empírica e teórica e ainda gerou impacto social. Portanto, nesta pesquisa, a DSR contribuiu como alicerce para criar soluções inovadoras com potencial de melhorar a vida dos cidadãos.

No contexto desta pesquisa, a intersecção entre a Sociologia Urbana enquanto subsídio teórico para a análise urbana e a Design Science Research (DSR) enquanto arcabouço metodológico, revela um campo fértil para a inovação e a transformação das cidades fundamentadas numa melhor compreensão das dinâmicas urbanas. A Sociologia Urbana, com suas raízes na Escola de Chicago, e tendo como expoente os estudos de Park (1915), nos proporciona um olhar clássico sobre a cidade como um organismo vivo, moldado por relações sociais e culturais. Já a DSR, com sua abordagem pragmática e orientada para a solução de problemas (DELPOR; VON SOLMS; GERBER, 2024; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015; HEVNER *et al.*, 2024), nos equipa com ferramentas e metodologias para desenvolver

soluções inovadoras e tangíveis para os desafios urbanos no recorte das ciências do artificial (BIANCHINI, 2023; SIMON, 1996). Com os crescentes desafios urbanos na era do antropoceno, e o empenho da comunidade científica no estudo desses fenômenos (DERICKSON, 2018; SIKANDAR; ALI; HASSAN, 2024), a pesquisa viabiliza a conexão dos estudos acadêmicos com as respostas que a comunidade pode ter em termos práticos. Nesse espectro teórico desenvolveu-se a pesquisa, orientada aos avanços da disciplina de cidades inteligentes no recorte da centralidade cidadã (ANGELIDOU, 2015; KUMAR, 2024) concebendo artefatos para a melhoria da vida humana nas cidades.

A natureza iterativa e colaborativa do processo de pesquisa (DUB, 2023; ISMAIL; ZHANG, 2017) esteve em evidência durante toda a jornada do trabalho. A construção dos artefatos, como os dispositivos IoT e as plataformas de análise de dados, foi um processo contínuo de planejamento, construção, validação e adaptação. A cada ciclo, novos desafios surgiam, exigindo a revisão de requisitos, a checagem das entregas junto aos objetivos e a busca por soluções criativas para contornar as limitações encontradas (ANTONY *et al.*, 2023; MOUTINHO *et al.*, 2024; VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2012). Essa dinâmica demonstra a importância de uma abordagem flexível e adaptável para a pesquisa no contexto de tecnologia e cidades. No mesmo sentido, a integração de diferentes fontes de dados, como dados de sensores, bases de dados secundárias e informações provenientes de pesquisas junto aos cidadãos, permitiu uma análise mais completa e abrangente das dinâmicas urbanas (BUI, 2024; CARDULLO; KITCHIN, 2019; GALLOTTI; SACCO; DE DOMENICO, 2021; KITCHIN, 2014). Essa abordagem multidisciplinar foi fundamental para compreender a complexidade dos sistemas urbanos e revelou oportunidades significativas para intervenção. Ao cruzar diferentes conjuntos de dados, é possível explorar padrões e correlações que poderiam passar despercebidas em análises isoladas (MALLAPURAM *et al.*, 2017; NILAM NARAYAN DHAGE, 2023; WANG, 2023).

A participação de diversos atores sociais, como gestores públicos, empresas e cidadãos, foi importante para o sucesso da pesquisa, uma vez que possibilitou uma visão ampla do contexto do estudo (SIOKAS; TSAKANIKAS; SIOKAS, 2021). As visitas em projetos convergentes dentro e fora do país também reforçaram a cocriação, permitindo que os artefatos desenvolvidos fossem relevantes e alinhados com as necessidades da comunidade. Além disso, a inclusão específica da pesquisa da satisfação dos cidadãos com a vida nas cidades, que contribuiu para a legitimação da importância da pesquisa e para a construção de soluções tecnológicas com uma abordagem centrada no cidadão (ANTHOPOULOS; JANSSEN; WEERAKKODY, 2023; KÖNIG, 2021).

A generalização dos artefatos desenvolvidos é outro aspecto importante a ser considerado em uma pesquisa com método DSR (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015; MOUTINHO *et al.*, 2024). Nesse sentido, o dispositivo IoT pode ser utilizado em qualquer ambiente urbano, interno ou externo, nos contextos em que há disponibilidade de redes de celular. A plataforma digital, por exemplo, possui o potencial de ser adaptada para outras cidades, permitindo a comparação de diferentes contextos urbanos e a identificação de melhores práticas. No entanto, a exemplo da teoria da contingência defendida por autores como Lawrence e Lorsch (1967), não há uma única melhor maneira de organizar uma instituição. A eficácia depende da adaptação a variáveis externas e internas, diferentes ambientes demandam diferentes estruturas que devem ser ajustadas conforme suas incertezas. Portanto a replicabilidade exige planejamento e a consideração de fatores específicos de cada local, como a disponibilidade de dados secundários, infraestrutura tecnológica disponível, características geográficas entre outras peculiaridades que devem ser consideradas na replicação.

A ética na pesquisa com dados é um desafio crescente (AFFONSO SOUZA *et al.*, 2020; LÄHTEENOJA; KARHU, 2023; YÜKSEKDAĞ, 2024). A coleta e o uso de dados exigem o desenvolvimento de protocolos rigorosos para garantir a privacidade e a segurança dos dados, principalmente aqueles sensíveis e pessoais. Nesta pesquisa, optou-se por não utilizar dados sensíveis ou pessoais, portanto não foi necessário realizar nenhuma anonimização. Essa transparência foi fundamental para que a pesquisa atingisse aos seus objetivos e implementasse os métodos de pesquisa sem intercorrências, sem o comprometimento da privacidade de indivíduos, mesmo envolvendo os participantes em todas as etapas do processo. Entretanto, a coleta massiva de dados nas cidades inteligentes pode suscitar preocupações legítimas sobre o uso indevido dessas informações, especialmente quando os dados são integrados em plataformas digitais controladas por entidades. A presente pesquisa destaca a importância de desenvolver políticas claras que garantam que a privacidade e a democracia sejam respeitadas, ao mesmo tempo em que se promovem as inovações tecnológicas.

Outro fator crítico a ser discutido, encontrado na ISO 37122, especificamente na dimensão treze que diz respeito a população e condições sociais, aponta as questões de exclusão digital e aos desafios do acesso equitativo às tecnologias. Os benefícios da informação cidadã promovidos pelos artefatos, limitam-se aos cidadãos alfabetizados, inseridos no universo digital e na condição de usuários de tecnologias. Desta forma, ainda que o trabalho se proponha a melhorar a qualidade de vida dos seus cidadãos, em algum aspecto, pode contribuir também para a exclusão digital. Essa assimetria tecnológica pode comprometer a efetividade das

políticas de *smart cities*, particularmente em regiões com menor infraestrutura tecnológica ou maior vulnerabilidade socioeconômica. Portanto a presente tese reforça que a inclusão digital e o acesso às tecnologias deve ser um direito perseguido no contexto das cidades inteligentes.

Por outro lado, a pesquisa também validou alternativas de como a Cidade de Caxias do Sul pode conduzir ações para a conformidade e aderência à ISO 37122 em algumas dimensões. Mesmo que sem a intenção explícita, a presente tese e seus respectivos artefatos tem relação direta e habilitam a possibilidade de cumprir com os indicadores. Sendo esta, mais uma entrega de aproveitamento social do presente trabalho, conforme o *Quadro 15*.

Quadro 15 - Indicadores da ISO 37122 diretamente impactados pela pesquisa

Número e dimensão	Número e indicador
8. Meio ambiente e mudança climática.	8.2 Número de estações de monitoramento remoto da qualidade do ar em tempo real por quilômetro quadrado (km ²).
	8.3 Porcentagem de edifícios públicos equipados para monitorar a qualidade do ar interior.
11. Saúde.	11.3 Porcentagem da população da cidade com acesso a sistemas de alerta público em tempo real para alertas de qualidade do ar e da água.
21. Planejamento Urbano.	21.4 Porcentagem da população da cidade que vive em densidades populacionais médias a altas.

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

No âmbito da governança, os estudos de Max Weber (1922) sobre a burocracia, já reconheciam a importância da racionalidade técnica para o bom funcionamento das instituições. Contudo, os resultados aqui apresentados apontam para uma extensão dessa racionalidade, onde a integração entre os sistemas tecnológicos e as percepções subjetivas dos cidadãos formam uma base de conhecimento mais rica e multifacetada para a formulação de políticas públicas. A pesquisa evidencia que a utilização de plataformas digitais para a coleta e integração de dados ambientais e sociais pode proporcionar aos gestores públicos uma visão mais holística da cidade, permitindo decisões mais informadas e baseadas em evidências.

No caso das *smart cities* centradas no cidadão, o gestor assume um papel estratégico ao equilibrar as inovações tecnológicas com a necessidade de garantir que essas inovações atendam aos interesses da população. A implementação de cidades inteligentes centradas no cidadão requer uma abordagem colaborativa, na qual o governo, a sociedade civil, o setor privado e a academia trabalham de forma integrada para resolver os problemas urbanos. O uso de tecnologias digitais para promover a coprodução de políticas públicas é uma das formas mais promissoras de fomentar essa governança colaborativa. Por isso, a integração de dados georreferenciados com informações sobre a satisfação dos cidadãos fornece uma visão contextualizada das necessidades urbanas, permitindo a criação de políticas públicas mais

adaptadas às realidades locais (CHEN, 2024; KIM; WELLSTEAD; HEIKKILA, 2023).

No sentido do desenvolvimento urbano sustentável e no contorno aos desafios ambientais enfrentados pelo planeta, as cidades desempenham um papel central. As cidades inteligentes, habilitam ferramentas tecnológicas que podem auxiliar a lidar com os impactos ambientais dos centros urbanos, um dos maiores desafios do século XXI. A integração de tecnologias para monitoramento ambiental, conforme demonstrado nesta tese, oferece novas ferramentas para mitigar os impactos negativos das atividades urbanas e dos efeitos climáticos extremos (GALLOTTI; SACCO; DE DOMENICO, 2021; SIKANDAR; ALI; HASSAN, 2024). Com sensores medindo a poluição do ar e dados meteorológicos, é possível constituir políticas de *smart cities* que promovam práticas de sustentabilidade que beneficiem as futuras gerações (ARSHI; MONDAL, 2023; KOZARIK *et al.*, 2022; KUMAR *et al.*, 2024; YANG *et al.*, 2022).

Sob a perspectiva de inovação aberta e desenvolvimento econômico, a tese demonstra que a inovação em contextos urbanos não é um processo controlado exclusivamente pelo governo ou por grandes empresas de tecnologia, mas sim um esforço coletivo que envolve a contribuição de diversos agentes (DHABLIYA *et al.*, 2023; DUB, 2023; ECKERT; HÜSIG, 2022). As plataformas digitais e os sensores IoT desenvolvidos no âmbito desta pesquisa podem ser vistos como exemplos, uma vez que possibilitam a participação ativa dos mais variados atores, sejam eles cidadãos, pesquisadores, agentes públicos, empresas, evidenciando a colaboração entre diferentes instituições. A criação de hubs de inovação tecnológica voltado para cidades inteligentes já são uma realidade na cidade, e podem atrair novas empresas e investidores, gerando emprego e estimulando o desenvolvimento econômico sustentável.

Dessa forma, a presente pesquisa contribui para o avanço do conhecimento teórico e prático sobre as cidades inteligentes, integrando tecnologias emergentes com o enfoque na centralidade cidadã. Ao promover uma visão holística das dinâmicas urbanas e ao destacar a importância da participação ativa dos cidadãos, o trabalho oferece novos caminhos para a formulação de políticas públicas mais eficientes, inclusivas e sustentáveis na cidade de Caxias do Sul.

A pesquisa apresentada neste trabalho abre caminho para novas investigações. É possível expandir os estudos utilizando inteligência artificial incorporada nas análises, além disso é possível realizar a exploração de novas fontes de dados, como dados de redes sociais, e de outras secretarias. A coleta de dados sobre a satisfação dos cidadãos pode ser realizada em tempo real, bem como as demais bases de dados que podem ser alimentadas em tempo real fornecendo a capacidade da análise integrada dos desafios urbanos em tempo real, com o

cidadão no centro do processo.

Por fim, a discussão desta tese aponta que a pesquisa exemplifica uma forma de participação ativa, na qual os residentes das cidades podem influenciar diretamente a formulação de políticas públicas, potencializando os efeitos benéficos da governança democrática, unindo tecnologia e cidadania em torno da sustentabilidade e da qualidade de vida dos cidadãos. Portanto, a pesquisa contribui para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes e para a construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese de doutorado recebeu fomento do CNPQ e teve como premissa o desenvolvimento de um produto ou processo inovador além de uma tese escrita. Nesse sentido, possui viés empírico latente ao passo que interage no campo conceitual. Diante disso, a pesquisa buscou esclarecer a questão investigativa de como o desenvolvimento de artefatos tecnológicos que coletam variáveis ambientais de forma dinâmica e georreferenciada e os cruzam com bases de dados secundárias pode contribuir para o entendimento das dinâmicas urbanas em Caxias do Sul-RS, gerando dados para futuras iniciativas de cidades inteligentes centradas no cidadão. Para responder à questão de pesquisa, foi realizado o desenvolvimento e a avaliação de artefatos tecnológicos, sendo um protótipo funcional de um dispositivo IoT (Internet of Things) dinâmico, destinado à coleta de dados ambientais georreferenciados em tempo real, e plataformas digitais que integram essas informações a bases de dados secundárias, com o objetivo de aprofundar a compreensão das dinâmicas urbanas na cidade gaúcha de Caxias do Sul e subsidiar a formulação de políticas de *smart cities* centradas no cidadão.

Nesse sentido, os objetivos específicos que foram atingidos ao longo da pesquisa contemplaram a criação e validação de um protótipo do dispositivo IoT com um nível de maturidade TLR7, que empregou sensores de luminosidade, ruído, temperatura, iluminação, qualidade do ar e gps para a captação dinâmica dos dados ambientais. Tais dispositivos foram validados em ambiente real, para tanto, foram acoplados na parte externa de ônibus e realizaram a coleta continuada de dados ambientais por quatro meses na cidade de Caxias do Sul.

Na mesma direção, também foi desenvolvido um firmware para o gerenciamento do dispositivo e realizada a implementação de arquitetura em termos de infraestrutura em nuvem para a coleta, armazenamento e disponibilização dessas informações. Ainda em atendimento aos objetivos específicos, foi realizada a normalização de diferentes bases de dados, sendo estes dados advindos das coletas realizada pelo dispositivo desenvolvido e bases de dados

secundárias. Os dados secundários utilizados são de segurança pública fornecidos pelo município de Caxias do Sul, dados de satisfação do cidadão com a vida nas cidades fornecidos pelo City Living Lab e dados públicos advindos do censo do IBGE. Além de normalizados, os dados foram considerados para a construção de duas interfaces analíticas baseadas em GIS, e foram espacializados, tendo o nível como de bairro como unidade de análise padronizada nas bases.

Como suporte metodológico, a abordagem adotada foi a Design Science Research (DSR), que possibilitou a construção da pesquisa e a elaboração dos artefatos através de um processo iterativo, integrando construção, testes e ajustes constantes para o aprimoramento tanto do dispositivo quanto das plataformas. A característica de construção iterativa proporcionada pelo uso deste método acolheu simultaneamente os ciclos de desenvolvimento dos artefatos e a construção do conhecimento resultantes do processo de pesquisa. Foram documentados doze ciclos iterativos de desenvolvimento, em cada um dos ciclos, o trabalho avançou na consolidação teórico-conceitual e na consolidação do artefato. Os ciclos cessaram quando os objetivos da pesquisa foram plenamente atendidos.

Os resultados obtidos evidenciam que a implementação de artefatos tecnológicos com o objetivo de coleta e análise de dados ambientais tem implicações significativas para a gestão urbana. O dispositivo IoT desenvolvido demonstrou sua capacidade de fornecer dados dinâmicos no contexto urbano, permitindo a espacialização de análise das variáveis ambientais no espectro das cidades, importando maior granularidade e ampliando o volume de dados considerados para a avaliação das condições ambientais locais. A habilitação de análise dos dados coletados em conjunto com os dados secundários, potencializou a possibilidade de correlações entre diferentes contextos e com um maior número e tipo de variáveis. A espacialização dos dados nas plataformas, viabilizou a aplicação de técnicas geoestatísticas, oferecendo uma alternativa às análises ambientais utilizando a estatística convencional. Com isso a visualização dos dados se torna mais acessível, uma vez que possui exibição em mapas e formas amigáveis, aumentando a democraticidade e facilitando o uso da tecnologia pelos interessados, incluindo os cidadãos.

Além disso, a inclusão da base de dados oriunda da percepção da satisfação com a vida nas cidades, habilitou e instrumentalizou o protagonismo e participação cidadã nas análises, fomentando a centralidade cidadã aplicada. Portanto, o conjunto empírico entregue pela pesquisa oferece instrumentos para a análise do panorama das dinâmicas urbanas sob múltiplos contextos e perspectivas, posicionando a tecnologia como meio para o alcance da qualidade de vida nas cidades.

Os casos de uso possíveis com os artefatos desenvolvidos, tanto de forma isolada, quanto no uso integrado e com o cruzamento de múltiplas bases de dados e contextos, revelaram incremento para a análise de microclima e condições ambientais urbanas tanto na adoção da coleta dinâmica de dados ambientais por meio dos sensores *per se*, quanto pelo cruzamento e análises multidimensionais com o uso das plataformas GIS. Nesse sentido, a pesquisa habilitou componentes de análise que podem originar políticas públicas voltadas para iluminação pública, saúde, poluição e qualidade do ar, conforto térmico, resiliência, controle de ruído, mobilidade, inclusão e programas sociais, desenvolvimento regional e segurança pública. Todas elas podendo considerar a percepção do cidadão como componente do processo. Da mesma forma, os artefatos publicados gratuitamente permitem aos cidadãos tecnologicamente habilitados, utilizar os dados para seus próprios anseios, consultas e reflexões.

Portanto, do ponto de vista aplicado, a pesquisa desenvolvida não apenas contribui com a materialização dos artefatos e seus respectivos processos construtivos, mas também revela a viabilidade do uso de tecnologias que oferecem uma nova lente através da qual gestores públicos, cidadãos, empresas e instituições de pesquisa podem interpretar dados e tomar decisões informadas na cidade de Caxias do Sul. A capacidade gerencial de utilizar múltiplos dados, tanto ambientais, quanto de bases secundárias, em uma única unidade de análise e de forma espacializada, culmina na possibilidade de construção de políticas mais adaptativas, que respondem efetivamente às necessidades emergentes da população quando a percepção do cidadão é um componente central na análise. No mesmo sentido, oportuniza a informação para os demais atores que busquem o desenvolvimento de novos produtos, serviços e pesquisas no espectro urbano com a reutilização dos dados e das estruturas construídas pelos artefatos.

De forma concomitante, enquanto contribuição teórica, a pesquisa traz luz ao entendimento de que as cidades contemporâneas requerem abordagens que interliguem os anseios dos seus cidadãos, as dinâmicas urbanas e as inovações tecnológicas. Essas tecnologias, quando postuladas como meio entre a satisfação percebida pelos cidadãos e a formulação de políticas públicas, podem desempenhar um papel transformador na configuração da governança pública, do exercício da cidadania e do desenvolvimento urbano. A inserção de dispositivos tecnológicos e a coleta de dados sobre o ambiente não apenas proporcionam maior eficiência na gestão das cidades, mas também possibilitam que a própria concepção de cidadania seja revista. Nesse contexto, o entrelaçamento entre sociologia urbana e tecnologia proposto pela pesquisa, abre espaço para uma reflexão mais profunda sobre como as políticas urbanas podem ser moldadas e como a centralidade cidadã pode ser aplicada no contexto das cidades. A integração das vozes dos cidadãos nesse processo de coleta e uso de dados é essencial, uma vez

que a eficácia das políticas implementadas depende da capacidade de ouvir e responder às demandas reais da população.

Além disso, a pesquisa permitiu contribuir com a evolução do conceito de cidades inteligentes, onde a capacidade de coletar e analisar dados em tempo real oferece uma nova dimensão de governança. Nesse cenário, a utilização de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) representa uma mudança significativa na forma como se percebe a governança urbana. Esse uso intensivo de dados pode, além de subsidiar *insights* para a tomada de decisão, permitir intervenções e interações urbanas mais responsivas e precisas ao passo que reforça a cidadania. Nesse sentido, a tese também traz à tona questões sobre a privacidade, a segurança e a exclusão tecnológica. Assim, sugere que a criação de soluções urbanas tecnológicas seja resultado de um diálogo entre diferentes stakeholders, ou seja, entre cidadãos, instituições de pesquisa, gestores públicos e empresas privadas buscando atender as legislações de privacidade, as boas práticas de segurança da informação e meios de promover a inclusão social na implementação de novas tecnologias. Portanto, a correlação entre as dinâmicas sociais e as inovações tecnológicas, mediada pela voz dos cidadãos, é crucial para a construção de cidades que, através da tecnologia e da interação social, garantam um futuro urbano mais inclusivo e equitativo.

As implicações gerenciais também se estendem à necessidade de capacitação de gestores e profissionais municipais. As habilidades necessárias para operar e interpretar dados em ambientes de *smart cities* são frequentemente subestimadas. Com a habilitação dos cidadãos e dos agentes públicos, as cidades podem não apenas aumentar a eficiência na gestão urbana, mas também fomentar uma cultura voltada para a inovação. A cultura de dados possui um papel central nesse contexto; sem a adoção de políticas orientada por dados no serviço público, os investimentos em tecnologia podem fracassar em suas entregas.

Portanto, os principais achados demonstram que a combinação de tecnologias emergentes e a centralidade cidadã são relevantes para a formulação de políticas públicas em *smart cities*. A pesquisa evidenciou que a tecnologia pode servir como um catalisador para a melhoria da qualidade de vida urbana, permitindo uma análise mais abrangente das dinâmicas socioambientais, abrindo novos caminhos de pesquisa que consideram o engajamento comunitário não apenas como um resultado, mas como um fator ativo na criação de soluções urbanas.

Entretanto, o estudo apresenta algumas limitações. A dependência de tecnologias específicas e a necessidade de infraestrutura adequada podem restringir a replicabilidade dos artefatos em contextos urbanos com menos recursos. Além disso, a pesquisa não abordou em profundidade a questão da inclusão digital, que é crucial para garantir que todos os cidadãos

possam se beneficiar das inovações propostas. A falta de dados com equiparação longitudinal também limita a capacidade de avaliar os dados sobre um espectro real de análise. Da mesma forma, as inconsistências e a falta de precisão dos sensores comprometem o uso dos dados para missões críticas, limitando a capacidade de reutilização dos dados da pesquisa.

Para futuras pesquisas, recomenda-se a exploração de abordagens que integrem dados de diferentes fontes, como redes sociais e bases de dados de outras origens, para enriquecer ainda mais a análise das dinâmicas urbanas. A utilização de inteligência artificial e aprendizado de máquina pode potencializar a capacidade preditiva dos modelos, permitindo uma resposta mais ágil e eficaz a desafios urbanos. A pesquisa também sugere aprofundar estudos que investiguem a relação entre a satisfação do cidadão e as variáveis ambientais e estudar a satisfação dos cidadãos com a vida nas cidades após a formulação de políticas públicas baseadas no uso de dados advindos dos contextos tecnológicos estudados na presente pesquisa.

Na mesma direção, sugere investigação complementar de como as tecnologias, no contexto urbano, podem ser utilizadas para promover a inclusão social e digital, garantindo que todos os cidadãos tenham acesso às informações e possam participar ativamente do processo de tomada de decisão. Outro aspecto a ser estudado é a necessidade de desenvolver protocolos éticos para a coleta massiva e uso de dados, especialmente em contextos de cidades inteligentes. No mesmo sentido, sugere-se estudos que abordem a proteção da privacidade dos cidadãos e a preservação da transparência e soberania dos dados ambientais pelas cidades.

Em suma, a presente tese contribui para o avanço do conhecimento sobre cidades inteligentes centradas no cidadão, demonstrando que a integração de tecnologias emergentes com a participação ativa da população pode resultar em melhorias significativas na qualidade de vida urbana. A pesquisa reforça a importância de uma abordagem multidisciplinar e colaborativa na formulação de políticas públicas, destacando que a inovação deve ser orientada para atender às necessidades reais da população. Por fim, a pesquisa estabelece um modelo de referência que pode ser adotado por outras cidades que buscam se tornar mais inteligentes e sustentáveis. A experiência adquirida em Caxias do Sul pode servir como um case de sucesso, inspirando outras iniciativas que visem integrar tecnologia e cidadania em prol do desenvolvimento urbano sustentável. A continuidade deste trabalho poderá gerar novas oportunidades de pesquisa e inovação, contribuindo para a construção de cidades responsivas aos desejos dos seus cidadãos.

REFERÊNCIAS

- ABELLA, A.; ORTIZ-DE-URBINA-CRIADO, M.; DE-PABLOS-HEREDERO, C. A model for the analysis of data-driven innovation and value generation in smart cities' ecosystems. **Cities**, v. 64, p. 47–53, 2017.
- AFFONSO SOUZA, C.; CÉSAR DE OLIVEIRA, C.; PERRONE, C.; CARNEIRO, G. From privacy to data protection: the road ahead for the Inter-American System of human rights. **International Journal of Human Rights**, v. 0, n. 0, p. 147–177, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/13642987.2020.1789108>>.
- AHAD, M. A.; PAIVA, S.; TRIPATHI, G.; FERROZ, N. **Enabling technologies and sustainable smart cities** *Sustainable Cities and Society* 2020.
- AHMAD, M. Spatial Data as a Catalyst to Drive Entrepreneurial Growth and Sustainable Development. p. 79–104.
- AHMED, M. A.; BAYOMY, B. H. The impact of industrial revolutions on the urban transformations of cities case study greater Cairo. **International Journal of Advanced Science and Technology**, v. 29, n. 1, p. 869–888, 2020.
- AHMED, M. S.; MAHMUDDIN, M. Bin; MAHAT, N. I. B. The factor affecting Malaysian citizens satisfaction with open government data. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 12, n. 15, p. 3843–3846, 2017.
- AHVENNIEMI, H.; HUOVILA, A.; PINTO-SEPPÄ, I.; AIRAKSINEN, M. What are the differences between sustainable and smart cities? **Cities**, v. 60, p. 234–245, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>>.
- AL AHMAD, M.; ALLATAIFEH, A. Piezoelectric-based energy harvesting for smart city application. **Information Innovation Technology in Smart Cities**, p. 343–356, 2017.
- AL MAZROUEI, S. A.; AL DEREI, N. S.; BELKHOUCHE, B. A Software Model Supporting Smart Learning. *Em: Information Innovation Technology in Smart Cities*. Singapore: Springer Singapore, 2018. p. 21–32.
- ALAWADHI, S.; ALDAMA-NALDA, A.; CHOURABI, H.; GIL-GARCIA, J. R.; LEUNG, S.; MELLOULI, S.; NAM, T.; PARDO, T. A.; SCHOLL, H. J.; WALKER, S. Building understanding of smart city initiatives. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 7443 LNCS, p. 40–53, 2012.
- 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.
- ALCAIDE MUÑOZ, L.; RODRÍGUEZ BOLÍVAR, M. P. Using tools for citizen engagement on large and medium-sized european smart cities. **Public Administration and Information Technology**, v. 34, p. 23–35, 2019.

- ALKHATIB, M.; EL BARACHI, M.; SHAALAN, K. An Arabic social media based framework for incidents and events monitoring in smart cities. **Journal of Cleaner Production**, v. 220, p. 771–785, 2019.
- ALLEN, B.; TAMINDAEL, L. E.; BICKERTON, S. H.; CHO, W. Does citizen coproduction lead to better urban services in smart cities projects? An empirical study on e-participation in a mobile big data platform. **Government Information Quarterly**, v. 37, n. 1, p. 101412, 2020.
- ALVES CARNEIRO, L.; VIANA, L. de S.; PENNA LAMOUNIER, L. **Cidades inteligentes**. [s.l.] Edições Câmara, 2021. v. 1392 p.
- ANGELIDOU, M. Smart cities: A conjuncture of four forces. **Cities**, v. 47, n. October, p. 95–106, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2015.05.004>>.
- ANTHOPOULOS, L.; JANSSEN, M.; WEERAKKODY, V. Introduction to the Special Issue on Citizen Centricity in Smart Cities. **Digital Government: Research and Practice**, v. 4, n. 3, p. 1–4, 31 jul. 2023.
- ANTONY, J.; SONY, M.; LAMEIJER, B.; BHAT, S.; JAYARAMAN, R.; GUTIERREZ, L. Towards a design science research (DSR) methodology for operational excellence (OPEX) initiatives. **The TQM Journal**, 3 out. 2023.
- ARNSTEIN, S. R. A Ladder Of Citizen Participation. *Journal of the American Institute of Planners*. **Journal Of The American Institute Of Planners**, v. 35, n. November 2012, p. 37–41, 1969.
- ARSHI, O.; MONDAL, S. Advancements in sensors and actuators technologies for smart cities: a comprehensive review. **Smart Construction and Sustainable Cities**, v. 1, n. 1, p. 18, 21 nov. 2023.
- BAAL-SCHEM, J. Societal Implications of Modern Information Technology. **IEEE Technology and Society Magazine**, v. 4, n. 4, p. 20–26, dez. 1985.
- BATTY, M. Intelligent Cities: Using Information Networks to Gain Competitive Advantage. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 17, n. 3, p. 247–256, 1 set. 1990.
- BELANCHE, D.; CASALÓ, L. V.; ORÚS, C. City attachment and use of urban services: Benefits for smart cities. **Cities**, v. 50, p. 75–81, 2016.
- BERETTA, I. The social effects of eco-innovations in Italian smart cities. **Cities**, v. 72, n. September 2016, p. 115–121, 2018.
- BIANCHINI, F. A New Definition of “Artificial” for Two Artificial Sciences. **Foundations of Science**, v. 28, n. 1, p. 401–417, 1 mar. 2023.
- BIFULCO, F.; TREGUA, M.; AMITRANO, C. C.; D’AURIA, A. ICT and sustainability in smart cities management. **International Journal of Public Sector Management**, v. 29, n. 2, p. 132–147, 7 mar. 2016.
- BREUER, J.; PIERSON, J. THE RIGHT TO THE CITY AND DATA PROTECTION: COMPLEMENTARY FOR DEVELOPING CITIZEN-CENTRIC DIGITAL CITIES? **AoIR Selected Papers of Internet Research**, 5 out. 2020.

BROOK, J. R.; SETTON, E. M.; SEED, E.; SHOOSHTARI, M.; DOIRON, D.; AWADALLA, P.; BRAUER, M.; HU, H.; MCGRIL, K.; STIEB, D.; SUBARRAO, P.; DEMERS, P.; MANUEL, D.; MCLAUGHLIN, J.; CARLSTEN, C.; AZAD, M.; ATKINSON, S.; BURNETT, R.; LOU, W.; RAINHAM, D.; EVANS, G.; COPES, R.; PANTELIMON, O.; SMARGIASSI, A.; DAVIES, H.; VILLENEUVE, P.; VAN DEN BOSCH, M.; CHAUMONT, D.; FEDDEMA, J.; TAKARO, T.; HAKAMI, A.; JOHNSON, M.; HATZOPOULOU, M.; HABIB, A.; FULLER, D.; WIDENER, M. The Canadian Urban Environmental Health Research Consortium - A protocol for building a national environmental exposure data platform for integrated analyses of urban form and health. **BMC Public Health**, v. 18, n. 1, p. 1–15, 2018.

BROOKER, D. Intelligent Cities? Disentangling the symbolic and material effects of technopole planning practices in Cyberjaya, Malaysia. p. 418, 2008.

BÜCH, D.; ESCH, M. CiTe: A Testbed for Smart City Applications and Architectures. Em: 2023 IEEE International Conference on Omni-layer Intelligent Systems (COINS), 2023, [...]. IEEE, 2023. p. 1–6.

BUI, M. Toward a community-driven approach to urban data-driven governance. **International Communication Gazette**, 17 jun. 2024.

BULLINGER, H. J.; NEUHÜTTLER, J.; NÄGELE, R.; WOYKE, I. Collaborative development of business models in Smart Service Ecosystems. **PICMET 2017 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Technology Management for the Interconnected World, Proceedings**, v. 2017- Janua, p. 1–9, 2017.

ÇAĞDAŞ, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 1, p. 77–87, 2011.

CAI, Q.; MI, Y.; CHU, Z.; ZHENG, Y.; CHEN, F.; LIU, Y. Demand Analysis and Management Suggestion: Sharing Epidemiological Data Among Medical Institutions in Megacities for Epidemic Prevention and Control. **Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)**, v. 25, n. 2, p. 137–139, 2020.

CALVILLO, C. F.; SÁNCHEZ-MIRALLES, A.; VILLAR, J. Energy management and planning in smart cities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 273–287, 2016.

CALVO, P. The ethics of Smart City (EoSC): moral implications of hyperconnectivity, algorithmization and the datafication of urban digital society. **Ethics and Information Technology**, v. 22, n. 2, p. 141–149, 2020.

CARAGLIU, A.; DEL BO, C. F. Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 142, n. July, p. 373–383, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.022>>.

CARDULLO, P.; KITCHIN, R. Being a ‘citizen’ in the smart city: up and down the scaffold of smart citizen participation in Dublin, Ireland. **GeoJournal**, v. 84, n. 1, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10708-018-9845-8>>.

- CARTER, E.; ADAM, P.; TSAKIS, D.; SHAW, S.; WATSON, R.; RYAN, P. Enhancing pedestrian mobility in Smart Cities using Big Data. **Journal of Management Analytics**, v. 7, n. 2, p. 173–188, 2020.
- CASTAGNA, A. G.; STRAUHS, F. do R. Smart Sustainable Cities: a Meta-Analysis of Concepts and Discourses in the Literature. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. e06806, 13 maio 2024.
- CHAKRABARTI, A. A course for teaching design research methodology. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 24, n. 3, p. 317–334, 2010.
- CHANG, D. L.; SABATINI-MARQUES, J.; DA COSTA, E. M.; SELIG, P. M.; YIGITCANLAR, T. Knowledge-based, smart and sustainable cities: A provocation for a conceptual framework. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 4, n. 1, 2018.
- CHEN, C.-W. Can smart cities bring happiness to promote sustainable development? Contexts and clues of subjective well-being and urban livability. **Developments in the Built Environment**, v. 13, p. 100108, mar. 2023.
- CHEN, S. Planning and Development of Smart Cities Based on the Concept of Sustainable Development. **Advances in Economics, Management and Political Sciences**, v. 96, n. 1, p. 73–80, 23 jul. 2024.
- CHO, Y.; JEONG, H.; CHOI, A.; SUNG, M. Design of a connected security lighting system for pedestrian safety in smart cities. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 5, 2019.
- CHONDROGIANNI, D.; KARATZAS, S. A systems approach for managing risks with complex interactions in urban spaces. **City and Environment Interactions**, v. 20, p. 100117, dez. 2023.
- DA CASTRO, F. S.; M PEZZOPANE, J. E.; CECÍLIO, R. A.; M PEZZOPANE, J. R.; XAVIER, A. C. **Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico 1**. [s.l.: s.n.].
- DA SILVA, M. B. C.; BEBBER, S.; FACHINELLI, A. C.; DE ATAYDE MOSCHEN, S.; DE LUCENA PERINI, R. City life satisfaction: A measurement for smart and sustainable cities from the citizens' perspective. **International Journal of Knowledge-Based Development**, v. 10, n. 4, p. 338–383, 2019a.
- DAMERI, R. P.; COCCHIA, A. Smart City and Digital City: Twenty Years of Terminology Evolution. **X Conference of the Italian Chapter of AIS, ITAIS 2013**, p. 1–8, 2013.
- DE BEM MACHADO, A.; RODRIGUES DOS SANTOS, J.; RICHTER, M. F.; SOUSA, M. J. Smart Cities: Building Sustainable Cities. *Em: Green Technological Innovation for Sustainable Smart Societies*. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 1–19.
- DE MEDEIROS, F. G.; DA COSTA, F. J. Satisfação De Residentes Com Seu Lugar: Definição E Proposta De Uma Escala De Mensuração De Múltiplos Itens. **Turismo - Visão e Ação**, v. 18, n. 1, p. 83, 2016.

DELPOR, P. M. J.; VON SOLMS, R.; GERBER, M. Methodological Guidelines for Design Science Research. **Procedia Computer Science**, v. 237, p. 195–203, 2024.

DERICKSON, K. D. Urban geography III: Anthropocene urbanism. **Progress in Human Geography**, v. 42, n. 3, p. 425–435, 2018.

DHABLIYA, D.; GOPALAKRISHNAN, S.; MUDIGONDA, A.; OMIRBAYEVNA, T. G.; RAJALAKSHMI, K.; KULSHRESHTHA, K.; SHNAIN, A. H.; KRISHNABHARGAVI, Y. Utilizing Big Data and environmentally-focused innovations to create smart, sustainable cities by integrating energy management, energy-efficient buildings, pollution mitigation, and urban circulation. Em: 2023 International Conference for Technological Engineering and its Applications in Sustainable Development (ICTEASD), 2023, [...]. IEEE, 2023. p. 402–408.

DÍAZ-DÍAZ, R.; PÉREZ-GONZÁLEZ, D. Implementation of social media concepts for e-Government: Case study of a social media tool for value co-creation and citizen participation. **Journal of Organizational and End User Computing**, v. 28, n. 3, p. 104–121, 2016.

DIMITROVA, V.; NIKOLOV, N.; GOSPODINOV, T. EDUCATION IN THE ERA OF SMART CITIES: TRANSFORMATION AND OPPORTUNITIES. **ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference**, v. 2, p. 352–357, 22 jun. 2024.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. **Design Science Research**. Cham: Springer International Publishing, 2015. 267–288 p.

DUB, A. The Impact of Innovations and Technological Development on Modern Society and Global Dynamics. **Economic Affairs**, v. 68, n. 4, 25 dez. 2023.

ECKERT, T.; HÜSIG, S. Innovation portfolio management: a systematic review and research agenda in regards to digital service innovations. **Management Review Quarterly**, v. 72, n. 1, p. 187–230, 11 fev. 2022.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - CFR PART 58. **Environmental Protection Agency Pt. 58**. [s.l: s.n.].

FACHINELLI, A. C.; GIACOMELLO, C. P.; LARENTIS, F.; D'ARRIGO, F. Measuring the capital systems categories: The perspective of an integrated value system of social life as perceived by young citizens. **International Journal of Knowledge-Based Development**, v. 8, n. 4, p. 334–345, 2017.

FAVERO, N.; WALKER, R. M.; ZHANG, J. A dynamic study of citizen satisfaction: replicating and extending Van Ryzin's "testing the expectancy disconfirmation model of citizen satisfaction with local government". **Public Management Review**, p. 1–19, 18 jan. 2024.

FAYDI, M.; ZRELLI, A.; EZZEDINE, T. Smart Environment Monitoring Systems for PM2.5 Prediction Using Deep Learning Models in Smart City. Em: 2023 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), 2023, [...]. IEEE, 2023. p. 1–6.

FREEMAN, G.; BARDZELL, J.; BARDZELL, S.; LIU, S.-Y. (Cyn); LU, X.; CAO, D. Smart and Fermented Cities. p. 1–13, 2019.

- GALLOTTI, R.; SACCO, P.; DE DOMENICO, M. Complex Urban Systems: Challenges and Integrated Solutions for the Sustainability and Resilience of Cities. **Complexity**, v. 2021, n. 1, 5 jan. 2021.
- GERRAND, V.; ROSE, M. C. Wellbeing. **M/C Journal**, v. 26, n. 4, 23 ago. 2023.
- GIBSON, D. V.; KOZMETSKY, G.; SMILOR, R. W. The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, Global Networks. **Behavioral Science**, v. 38, n. 2, p. 216, 1992.
- GIELA, M. The Human Element in the Context of Smart Cities. **Management Systems in Production Engineering**, v. 31, n. 3, p. 300–305, 1 set. 2023.
- GILMAN, E.; BUGIOTTI, F.; KHALID, A.; MEHMOOD, H.; KOSTAKOS, P.; TUOVINEN, L.; YLIPULLI, J.; SU, X.; FERREIRA, D. Addressing Data Challenges to Drive the Transformation of Smart Cities. **ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology**, 3 maio 2024.
- GOLUBCHIKOV, O.; THORNBUSH, M. J. Smart Cities as Hybrid Spaces of Governance: Beyond the Hard/Soft Dichotomy in Cyber-Urbanization. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 10080, 15 ago. 2022.
- GONZÁLEZ, J. A.; ROSSI, A. New trends for smart cities, open innovation mechanism in smart cities. **European commission with the ICT policy support programme**, v., v. 270896, 2011.
- HANCKE, G. P.; DE SILVA, B. de C. **The role of advanced sensing in smart cities**. [s.l.: s.n.]v. 13393–425 p.
- HARTLEY, K. Public Perceptions About Smart Cities: Governance and Quality-of-Life in Hong Kong. **Social Indicators Research**, v. 166, n. 3, p. 731–753, 27 abr. 2023.
- HAWKEN, S.; HAN, H.; PETTIT, C. **Open Cities | Open Data**. Singapore: Springer Singapore, 2020. 418 p.
- HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. **MIS Quarterly: Management Information Systems**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.
- HEVNER, A. R.; PARSONS, J.; BRENDEL, A. B.; LUKYANENKO, R.; TIEFENBECK, V.; TREMBLAY, M. C.; VOM BROCKE, J. Transparency in design science research. **Decision Support Systems**, v. 182, p. 114236, jul. 2024.
- HOLLANDS, R. G. Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? **City**, v. 12, n. 3, p. 303–320, 2008.
- HOREJSI, P.; NOVIKOV, K.; SIMON, M. A Smart Factory in a Smart City: Virtual and Augmented Reality in a Smart Assembly Line. **IEEE Access**, v. 8, p. 94330–94340, 2020.
- HUI, C. X.; DAN, G.; ALAMRI, S.; TOGHRAIE, D. Greening smart cities: An investigation of the integration of urban natural resources and smart city technologies for promoting environmental sustainability. **Sustainable Cities and Society**, v. 99, p. 104985, dez. 2023.
- IBRAHIM, A. M. Z.; M. ELGHAZALI, A. E. A framework for an Effective National Spatial Data. **مجلة الجمعية المصرية لنظم المعلومات وتكنولوجيا الحاسبات**, v. 32, n. 32, p. 94–110, 1 set. 2023.

- INKSTER, I. Structural change, the multifunctional polis and Japanese R & D for Australia. **Journal of Contemporary Asia**, v. 20, n. 3, p. 312–329, jan. 1990.
- INSCH, A.; FLOREK, M. A great place to live, work and play: Conceptualising place satisfaction in the case of a city's residents. **Journal of Place Management and Development**, v. 1, n. 2, p. 138–149, 2008.
- ISMAGILOVA, E.; HUGHES, L.; DWIVEDI, Y. K.; RAMAN, K. R. Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. **International Journal of Information Management**, v. 47, n. January, p. 88–100, 2019.
- ISMAIL, L.; ZHANG, L. **Information innovation technology in smart cities**. [s.l.: s.n.]1–356 p.
- ISMAIL, N.; KALACH, M.; KLEIB, Y. Towards a Citizen Centered Smart City: Integrating LeanThinking and Social Wellbeing. Em: 2022, [...]. 2022. p. 4454–455.
- IVÁNYI, T.; BÍRÓ-SZIGETI, S. Smart City: Studying smartphone application functions with city marketing goals based on consumer behavior of generation Z in Hungary. **Periodica Polytechnica Social and Management Sciences**, v. 27, n. 1, p. 48–58, 2019.
- JAQUELINE NICHI; TATIANA TUCUNDUVA PHILLIPI CORTESE. Urban living labs as public policy for smart cities: Evidence from tech parks in São Paulo, Brazil. **International Journal of Development Research**, p. 64918–64925, 28 fev. 2024.
- JARDIM, B.; NETO, M. de C.; CALÇADA, P. Urban dynamic in high spatiotemporal resolution: The case study of Porto. **Sustainable Cities and Society**, v. 98, p. 104867, nov. 2023.
- JERATH, K. S. Understanding Science, Technology & Modernity and the Emergence of Modern Science and Technology. Em: **Science, Technology and Modernity**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 17–30.
- JIN, D.; HANNON, C.; LI, Z.; CORTES, P.; RAMARAJU, S.; BURGESS, P.; BUCH, N.; SHAHIDEHPOUR, M. Smart street lighting system: A platform for innovative smart city applications and a new frontier for cyber-security. **Electricity Journal**, v. 29, n. 10, p. 28–35, 2016.
- JOHNSTON, M. P. Secondary Data Analysis : A Method of which the Time Has Come. **Qualitative and Quantitative Methods in Libraries (QQML)**, v. 3, n. January 2014, p. 619–626, 2014.
- JUCEVIČIUS, R.; PATAŠIENĖ, I.; PATAŠIUS, M. Digital Dimension of Smart City: Critical Analysis. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 156, n. April, p. 146–150, 2014.
- KATSIDIMAS, I.; NIKOLETSEAS, S.; PANAGIOTOU, S. H.; SPYROPOULOU, C. HealthAir: A Crowdsourcing mHealth Platform for Air Pollution Effects on Citizens Health Status. Em: 2023 19th International Conference on Distributed Computing in Smart Systems and the Internet of Things (DCOSS-IoT), 2023, [...]. IEEE, 2023. p. 593–600.
- KAUL, N.; DESHPANDE, A.; RAUT, R. Charting the Future Urban Frontiers: An Expedition through Smart and Sustainable Cities via Bibliometric Analysis and Systematic

Literature Review". Em: 2023 Second International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), 2023, [...]. IEEE, 2023. p. 976–981.

KBAR, G.; MIAN, S. H.; ABIDI, M. H. Unified interface for people with disabilities (UI-PWD) at smart city (design and implementation). **Information Innovation Technology in Smart Cities**, p. 3–20, 2017.

KELLY, Kevin. **What technology wants**. [s.l.] Penguin, 2010. 416 p.

KHELLADI, I.; CASTELLANO, S.; KALISZ, D. The smartization of metropolitan cities: the case of Paris. **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 16, n. 4, p. 1301–1325, 2020.

KIM, H. M.; HAN, S. S. Seoul. **Cities**, v. 29, n. 2, p. 142–154, 2012.

KIM, S.; WELLSTEAD, A. M.; HEIKKILA, T. Policy capacity and rise of data-based policy innovation labs. **Review of Policy Research**, v. 40, n. 3, p. 341–362, 12 maio 2023.

KITCHIN, R. The real-time city? Big data and smart urbanism. **GeoJournal**, v. 79, n. 1, p. 1–14, 2014.

KOLESNICHENKO, O.; MAZELIS, L.; SOTNIK, A.; YAKOVLEVA, D.; AMELKIN, S.; GRIGOREVSKY, I.; KOLESNICHENKO, Y. Sociological modeling of smart city with the implementation of UN sustainable development goals. **Sustainability Science**, v. 16, n. 2, p. 581–599, 2021.

KOMNINOS, N. **The age of intelligent cities: Smart environments and innovation-for-all strategies**. [s.l.: s.n.]v. 31–278 p.

KÖNIG, P. D. Citizen-centered data governance in the smart city: From ethics to accountability. **Sustainable Cities and Society**, v. 75, n. February, 2021.

KOZARIK, J.; GASPAREK, K.; ZAVODNIK, T.; CERNAJ, L.; JAGELKA, M.; DONOVAL, M. Multi-Sensor Modular IoT Platform for High-Density Monitoring of Environmental Parameters. Em: 2022 14th International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems (ASDAM), 2022, [...]. IEEE, 2022. p. 1–4.

KUBATKO, O.; ROUBÍK, H.; KUBATKO, V.; ODEWOLE, O.; STEPANENKO, Y.; KOVALOV, B.; KOZMENKO, S. Life satisfaction and digital transformation of society evidence from European economies. **International Journal of Global Environmental Issues**, v. 21, n. 2/3/4, p. 245, 2022.

KUMAR, D. Actual practices of citizen participation in smart cities. **Smart Cities and Regional Development (SCRD) Journal**, v. 8, n. 2, p. 19–30, 16 fev. 2024.

KUMAR, H.; SINGH, M. K.; GUPTA, M. P.; MADAN, J. Moving towards smart cities: Solutions that lead to the Smart City Transformation Framework. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 153, n. October 2017, p. 1–16, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.04.024>>.

KUMAR, P.; THANKI, D. V.; SINGH, S.; NIKOLOVSKI, S. **A new framework for intensification of energy efficiency in commercial and residential use by imposing social, technical and environmental constraints** **Sustainable Cities and Society**, 2020b.

Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85088661224&doi=10.1016%2Fj.scs.2020.102400&partnerID=40&md5=32221f83d1144bd1109de9be4d6da1af>>.

KUMAR, V.; GUNNER, S.; PREGNOLATO, M.; TULLY, P.; GEORGALAS, N.; OIKONOMOU, G.; KARATZAS, S.; TRYFONAS, T. Sense (and) the city: From Internet of Things sensors and open data platforms to urban observatories. **IET Smart Cities**, 21 maio 2024.

KURU, K.; ANSELL, D. TCitySmartF: A comprehensive systematic framework for transforming cities into smart cities. **IEEE Access**, v. 8, p. 18615–18644, 2020.

KUSUMAWATI, A.; RAHAYU, K. S. City citizenship behavior among residents: Investigating the role of emotional experience in event tourism and brand attitude. **JEMA: Jurnal Ilmiah Bidang Akuntansi dan Manajemen**, v. 19, n. 1, p. 1–21, 31 mar. 2022.

KWOK, M. H. G.; HO, K. H. K.; LAM, H. Y.; MAN, Y. H. C.; WONG, K. M. R. Integration of smart city planning in noise assessment and its benefits. **INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings**, v. 268, n. 4, p. 4823–4829, 30 nov. 2023.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: A research method to production engineering. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013.

LÄHTEENOJA, V.; KARHU, K. The virtuous smart city: Bridging the gap between ethical principles and practices of data-driven innovation. **Data & Policy**, v. 5, p. e15, 2 maio 2023.

LAZZARETTI, K.; SEHNEM, S.; BENCKE, F. F.; MACHADO, H. P. V. Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. 1–16, 2019.

LE DANTEC, C. A.; EDWARDS, W. K. Across boundaries of influence and accountability. p. 113, 2010.

LE MOIGNE, J.-L. Le Moigne, J.-L. (1994). Le constructivisme (Tome I — Des fondements). Paris : ESF. **Revue des sciences de l'éducation**, v. 22, n. 1, p. 197, 18 jul. 1994.

LEE, G.; CHOI, B.; AHN, C. R.; LEE, S. Wearable Biosensor and Hotspot Analysis–Based Framework to Detect Stress Hotspots for Advancing Elderly’s Mobility. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 3, p. 04020010, 2020.

LEE, J.; LEE, H. Developing and validating a citizen-centric typology for smart city services. **Government Information Quarterly**, v. 31, n. SUPPL.1, p. S93–S105, 2014.

LELLA, J.; MANDLA, V. R.; ZHU, X. Solid waste collection/transport optimization and vegetation land cover estimation using Geographic Information System (GIS): A case study of a proposed smart-city. **Sustainable Cities and Society**, v. 35, n. August, p. 336–349, 2017.

LEON, G. C. P. De. **Ciudad Ecosistema Introduccion A La Ecologia Urbana**. Bogotá: UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA, 2008. 340 p.

- LEVENDA, A. M. Thinking critically about smart city experimentation: entrepreneurialism and responsabilization in urban living labs. **Local Environment**, v. 24, n. 7, p. 565–579, 2019.
- LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. A transparent framework for defining the anthropocene epoch. **Anthropocene Review**, v. 2, n. 2, p. 128–146, 2015.
- LIU, B.; GU, J.; WANG, C. Research on smart city public health detection system and improvement technology based on intelligent multi-objective. **Frontiers in Public Health**, v. 12, 28 mar. 2024.
- LOBO, T. The Techne and Poiesis of Urban Life-Forms. *Em*: [s.l: s.n.]p. 37–55.
- MACKE, J.; RUBIM SARATE, J. A.; DE ATAYDE MOSCHEN, S. Smart sustainable cities evaluation and sense of community. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, 2019.
- MACKENZIE, D.; WAJCMAN, J. **The Social Shaping of Technology: How the Refrigerator got its Hum**. [s.l: s.n.]327 p.
- MALEK, J. A.; LIM, S. B.; YIGITCANLAR, T. Social inclusion indicators for building citizen-centric smart cities: A systematic literature review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 1, p. 1–29, 2021.
- MALLAPURAM, S.; NGWUM, N.; YUAN, F.; LU, C.; YU, W. Smart city: The state of the art, datasets, and evaluation platforms. **Proceedings - 16th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, ICIS 2017**, p. 447–452, 2017.
- MANTASHLOO, Z.; ABBASI, A.; TAZJI, M. K.; PEDRAM, M. M. Continuous estimation of kinetic variables while walking using an accelerometer and artificial neural networks. **Measurement Science and Technology**, v. 34, n. 9, p. 095101, 1 set. 2023.
- MARRONE, M.; HAMMERLE, M. Smart Cities: A Review and Analysis of Stakeholders' Literature. **Business and Information Systems Engineering**, v. 60, n. 3, p. 197–213, 2018.
- MARSAL-LLACUNA, M. L.; COLOMER-LLINÀS, J.; MELÉNDEZ-FRIGOLA, J. Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 90, n. PB, p. 611–622, 1 jan. 2015.
- MCMILLAN, D.; ENGSTRÖM, A.; LAMPINEN, A.; BROWN, B. *Data and the City*. 2016.
- MILLER, H. J.; TOLLE, K. Big data for healthy cities: Using location-aware technologies, open data and 3D urban models to design healthier built environments. **Built Environment**, v. 42, n. 3, p. 441–456, 2016.
- MIRANDA, R.; ALVES, C.; SOUSA, R.; CHAVES, A.; MONTENEGRO, L.; PEIXOTO, H.; DURÃES, D.; MACHADO, R.; ABELHA, A.; NOVAIS, P.; MACHADO, J. Revolutionising the Quality of Life: The Role of Real-Time Sensing in Smart Cities. **Electronics**, v. 13, n. 3, p. 550, 30 jan. 2024.
- MOUTINHO, J. da A.; FERNANDES, G.; RABECHINI, R.; PEDRON, C. Towards a comprehensive framework to support project studies in the context of university research

centres: a design science research. **International Journal of Managing Projects in Business**, 30 set. 2024.

NEIROTTI, P.; DE MARCO, A.; CAGLIANO, A. C.; MANGANO, G.; SCORRANO, F. Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. **Cities**, v. 38, p. 25–36, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>>.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. In search of useful theory of innovation. **Research Policy**, v. 6, n. 1, p. 36–76, jan. 1977.

NICKLAS, D. Research and the City: An Experience Report on Launching the Smart City Research Lab Bamberg. Em: 2023 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops), 2023, [...]. IEEE, 2023. p. 445–445.

NIKOLOV, N. SMART CITIES AS A TOOL FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES. **ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference**, v. 1, p. 261–266, 22 jun. 2024.

NIKOLOV, N.; PAVLOV, P. Theoretical concepts for building Smart cities. **Annual of Natural Sciences Department**, v. 7, p. 30–40, 30 dez. 2022.

NILAM NARAYAN DHAGE. Smart Cities with Big Data. **International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology**, p. 231–235, 8 nov. 2023.

OLADUNMOYE, O. M.; OBAKIN, , Olufunmilola Adetayo. Review of The Definition of Smart Cities. **Advances in Multidisciplinary and scientific Research Journal Publication**, v. 9, n. 3, p. 1–8, 30 set. 2023.

ONU. **Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial | ONU Brasil.**

ONU, O. das N. Unidas. **Relatório sobre os objetivos do desenvolvimento do milênio 2015 Time for Global Action for People and Planet.** [s.l: s.n.].

OSU, T.; NAVARRA, D. DEVELOPMENT OF A DATA GOVERNANCE FRAMEWORK FOR SMART CITIES. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLVIII-4/W5-2022, p. 129–136, 17 out. 2022.

PAES, V. de C.; PESSOA, C. H. M.; PAGLIUSI, R. P.; BARBOSA, C. E.; ARGÔLO, M.; DE LIMA, Y. O.; SALAZAR, H.; LYRA, A.; DE SOUZA, J. M. Analyzing the Challenges for Future Smart and Sustainable Cities. **Sustainability**, v. 15, n. 10, p. 7996, 13 maio 2023.

PARK, R. E. The City: Suggestions for the Investigation of Human Behavior in the City Environment. **American Journal of Sociology**, v. 20, n. 5, p. 577–612, 1915.

PARK, R. E.; MARTINEZ, E. **La ciudad y otros ensayos de ecología urbana.** [s.l: s.n.]v. 1261–265 p.

- PEIXOTO, J. P. J.; BITTENCOURT, J. C. N.; JESUS, T. C.; COSTA, D. G.; PORTUGAL, P.; VASQUES, F. Exploiting geospatial data of connectivity and urban infrastructure for efficient positioning of emergency detection units in smart cities. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 107, p. 102054, jan. 2024.
- PICON, A. Urban Infrastructure, Imagination and Politics: from the Networked Metropolis to the Smart City. **International Journal of Urban and Regional Research**, v. 42, n. 2, p. 263–275, 2018.
- PINCH, T. J.; BIJKER, W. E. **The Social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology might Benefit Each Other**. [s.l.: s.n.]v. 14399–441 p.
- PORTUGALI, J. Complexity, Coordination Dynamics and the Urban Landscape. **Buildings**, v. 14, n. 5, p. 1327, 8 maio 2024.
- RADZISZEWSKA, A. Data-Driven Approach in Knowledge-Based Smart City Management. **European Conference on Knowledge Management**, v. 24, n. 2, p. 1090–1098, 5 set. 2023.
- RAMAPRASAD, A.; SÁNCHEZ-ORTIZ, A.; SYN, T. A Unified Definition of a Smart City. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 10428 LNCS, p. V–VI, 2017.
- ROJEK, I.; STUDZINSKI, J. Detection and localization of water leaks in water nets supported by an ICT system with artificial intelligence methods as away forward for smart cities. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 2, 2019.
- ROLIM, C. O. **Uso de sensibilidade à situação em redes oportunistas para intensificar a comunicação de dados em aplicações de sensoriamento urbano**. 2016. 2016.
- ROMME, A. G. L. Making a Difference: Organization as Design. **Organization Science**, v. 14, n. 5, p. 558–573, 2003.
- ROONEY, D. A contextualising, socio-technical definition of technology: Learning from ancient Greece and Foucault. **Prometheus (United Kingdom)**, v. 15, n. 3, p. 399–407, 1997.
- SAGL, G.; RESCH, B.; BLASCHKE, T. Contextual sensing: Integrating contextual information with human and technical geo-sensor information for smart cities. **Sensors (Switzerland)**, v. 15, n. 7, p. 17013–17035, 2015.
- SÁNCHEZ, A.; RUIZ-MARTOS, M. J. Europe 2020 Strategy and Citizens' Life Satisfaction. **Journal of Happiness Studies**, v. 19, n. 8, p. 2315–2338, 2018.
- SARKER, I. H. Smart City Data Science: Towards data-driven smart cities with open research issues. **Internet of Things**, v. 19, p. 100528, ago. 2022.
- SASAKI, Y.; HORI, K.; NISHIHARA, D.; OHASHI, S.; WAKUTA, Y.; HARADA, K.; ONIZUKA, M.; ARASE, Y.; SHIMOJO, S.; DOI, K.; HONGDI, H.; PENG, Z.-R. Smart City Data Analysis via Visualization of Correlated Attribute Patterns. p. 650–653, 2021.
Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/2104.06701>>.

- SAUMIL B TRIVEDI; DR. ABHISHEK MEHTA. A Perception for Smart City Planning using Data Mining. **International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology**, v. 10, n. 3, p. 596–600, 20 jun. 2024.
- SCHÜRHOLOZ, D.; KUBLER, S.; ZASLAVSKY, A. **Artificial intelligence-enabled context-aware air quality prediction for smart cities** *Journal of Cleaner Production* 2020.
- SEKHAR, S. R. M.; AHMED, D. M. M.; SIDDESH, G. M. Analysis and Recommendation of Outdoor Activities for Smart City Users Based on Real-Time Contextual Data. **Computing Open**, v. 02, 17 jan. 2024.
- SENATORE, G.; SESSA, M. Hard and Soft Smart Cities: An Integrated Approach. **Società Mutamento Politica**, v. 14, n. 28, p. 95–102, 23 dez. 2023.
- SHARIFI, A. **A typology of smart city assessment tools and indicator sets**. [s.l.] Elsevier B.V., 2020. v. 53101936 p.
- SHARIFI, A.; ALLAM, Z.; BIBRI, S. E.; KHAVARIAN-GARMSIR, A. R. Smart cities and sustainable development goals (SDGs): A systematic literature review of co-benefits and trade-offs. **Cities**, v. 146, 1 mar. 2024.
- SHAW, S.-L. Urban Human Dynamics. *Em*: [s.l.: s.n.]p. 41–57.
- SHEHAYEB, D.; TAWFIK, M.; ELSAYED, M.; EMAD, S.; HALAWA, E. Humanizing Smart Cities: A Preconception to a Better Life for All. *Em*: 2023 2nd International Conference on Smart Cities 4.0, 2023, [...]. IEEE, 2023. p. 218–222.
- SHENNAN, S. **Technology, Evolution of**. [s.l.] Elsevier, 2015. v. 24129–134 p.
- SIKANDAR, S. M.; ALI, S. M.; HASSAN, Z. Harmonizing smart city tech and anthropocentrism for climate resilience and Nature's benefit. **Social Sciences and Humanities Open**, v. 10, 1 jan. 2024.
- SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial (3rd Ed.)**. USA: MIT Press, 1996. v. 165886–887 p.
- SINGH, A.; KUMAR, M. Data Urbanity: Smart City Evolution Through IoT and Data Science. *Em*: 2023 3rd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA), 2023, [...]. IEEE, 2023. p. 63–71.
- SIOKAS, G.; TSAKANIKAS, A.; SIOKAS, E. Implementing smart city strategies in Greece: Appetite for success. **Cities**, v. 108, n. October 2020, p. 102938, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102938>>.
- SIRROS IOT. **Manual de operações AMV**, 2024.
- SÖDERSTRÖM, O.; PAASCHE, T.; KLAUSER, F. Smart cities as corporate storytelling. **City**, v. 18, n. 3, p. 307–320, 2014.
- SODHRO, A. H.; PIRBHULAL, S.; LUO, Z.; DE ALBUQUERQUE, V. H. C. Towards an optimal resource management for IoT based Green and sustainable smart cities. **Journal of Cleaner Production**, v. 220, p. 1167–1179, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.188>>.

- SOFFNER, R. K. Tecnologias sociais e práxis educativa Social technologies and educational praxis. v. 19, n. 1, p. 57–62, 2014.
- STOJANOVSKI, D.; STREZOSKI, G.; MADJAROV, G.; DIMITROVSKI, I. Emotion identification in twitter messages for smart city applications. **Information Innovation Technology in Smart Cities**, p. 139–150, 2017.
- SVECHKINA, A.; TROP, T.; PORTNOV, B. A. How much lighting is required to feel safe when walking through the streets at night? **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 8, p. 3133, 1 abr. 2020.
- TADDEO, M.; FLORIDI, L. What is Data Ethics ? Subject Areas : Author for correspondence : **Philosophical transactions. Series A**, v. 374(2083):, n. Dec 28, p. 1–5, 2016.
- VAISHNAVI, V.; KUECHLER, B.; PETTER, S. Design Science Research in Information Systems. n. 1, p. 1–66, 2012. Disponível em: <<http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/>[Accessed 11 may 2017]>.
- VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.
- VAN KLEUNEN, L.; MULLER, B.; VOIDA, S. “Wiring a City”. **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, v. 5, n. CSCW1, p. 1–22, 13 abr. 2021.
- VELHO, O. G. **O fenômeno urbano**. Rio de Janeiro-RJ: Guanabara, 1987. 133 p.
- VOELZ, A.; MUCK, C.; AMLASHI, D. M.; KARAGIANNIS, D. Citizen-centric Design of Consumable Services for Smart Cities. **Digital Government: Research and Practice**, v. 4, n. 3, p. 1–18, 31 jul. 2023.
- WANG, Y. Big Data Applications for Smart Cities. **Journal of Innovation and Development**, v. 5, n. 3, p. 1–4, 21 dez. 2023.
- WÄSTBERG, B. S.; BILLGER, M.; ADELFO, M. A user-based look at visualization tools for environmental data and suggestions for improvement-an inventory among city planners in gothenburg. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 7, 2020.
- WEINSTEIN, Z. How to humanize technology in smart cities. **International Journal of E-Planning Research**, v. 9, n. 3, p. 68–84, 2020.
- WINCHESTER, H. P. M.; CHALKLEY, B. S. The Japanese-Australian Multifunction Polis: Context and Issues. **Urban Studies**, v. 27, n. 2, p. 273–281, 1990.
- WU, D.; XIE, Y.; LYU, S. Disentangling the complex impacts of urban digital transformation and environmental pollution: Evidence from smart city pilots in China. **Sustainable Cities and Society**, v. 88, 1 jan. 2023.
- XU, S.; CHEN, M.; YUAN, B.; ZHOU, Y.; ZHANG, J. Resident Satisfaction and Influencing Factors of the Renewal of Old Communities. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 150, n. 1, mar. 2024.

- YAN, Z.; JIANG, L.; HUANG, X.; ZHANG, L.; ZHOU, X. Intelligent urbanism with artificial intelligence in shaping tomorrow's smart cities: current developments, trends, and future directions. **Journal of Cloud Computing**, v. 12, n. 1, p. 179, 18 dez. 2023.
- YANG, F.; HUA, Y.; LI, X.; YANG, Z.; YU, X.; FEI, T. A survey on multisource heterogeneous urban sensor access and data management technologies. **Measurement: Sensors**, v. 19, p. 100061, fev. 2022.
- YIGITCANLAR, T.; FOTH, M.; KAMRUZZAMAN, M. Towards Post-Anthropocentric Cities: Reconceptualizing Smart Cities to Evade Urban Ecocide. **Journal of Urban Technology**, v. 26, n. 2, p. 147–152, 3 abr. 2019.
- YIGITCANLAR, T.; KAMRUZZAMAN, M.; BUYS, L.; IOPPOLO, G.; SABATINI-MARQUES, J.; DA COSTA, E. M.; YUN, J. H. J. Understanding 'smart cities': Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. **Cities**, v. 81, n. April, p. 145–160, 2018a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.003>>.
- YIGITCANLAR, T.; KAMRUZZAMAN, M.; FOTH, M.; SABATINI-MARQUES, J.; DA COSTA, E.; IOPPOLO, G. Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. **Sustainable Cities and Society**, v. 45, p. 348–365, 2019.
- YU, C.; YE, B.; LIN, C.; WU, Y. J. Can Smart City Development Promote Residents' Emotional Well-Being? Evidence from China. **IEEE Access**, v. 8, p. 116024–116040, 2020.
- YU, L.; LI, D.; ZHOU, S.; ZHU, X. Agent-based simulation of citizens' satisfaction in smart cities. **SIMULATION**, 5 ago. 2024.
- YÜKSEKDAĞ, Y. Commodification, datafication and smart cities: An ethical exploration. **Journal of Urban Affairs**, p. 1–17, 6 fev. 2024.
- ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of Things for Smart Cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 1, p. 22–32, fev. 2014.
- ZAWIESKA, J.; PIERIEGUD, J. Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation. **Transport Policy**, v. 63, n. June 2017, p. 39–50, 2018.
- ZENKER, S.; PETERSEN, S.; AHOLT, A. The Citizen Satisfaction Index (CSI): Evidence for a four basic factor model in a German sample. **Cities**, v. 31, p. 156–164, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2012.02.006>>.
- ZENKER, S.; RÜTTER, N. Is satisfaction the key? The role of citizen satisfaction, place attachment and place brand attitude on positive citizenship behavior. **Cities**, v. 38, p. 11–17, 2014.
- ZHANG, H.; LI, W. Where You Live Does Matter: Impact of Residents' Place Image on Their Subjective Well-Being. **Sustainability**, v. 14, n. 23, p. 16106, 2 dez. 2022.
- ZHOU, S.; LOIACONO, E. T.; KORDZADEH, N. Smart cities for people with disabilities: a systematic literature review and future research directions. **European Journal of Information Systems**, p. 1–18, 27 dez. 2023.

APÊNDICE A – BUSCAS BIBLIOMÉTRICAS

Figura 46 – Evidências das buscas bibliométricas

The figure consists of three screenshots illustrating bibliometric search results. The top and bottom screenshots are from Scopus, while the middle one is from Web of Science.

Top Screenshot (Scopus): Shows a search for "smart cit*" AND "data" within article titles, abstracts, and keywords. The search returned 2,203 documents. The interface includes options to refine search, export, download, and view citation overview. The search is sorted by date (newest).

Middle Screenshot (Web of Science): Shows a search for "smart cit*" AND "data" (Topic) in the Web of Science Core Collection. The search returned 878 results. The interface includes options to refine search, analyze results, generate a citation report, and create an alert. The search is refined by document type (Article) and Web of Science categories.

Bottom Screenshot (Scopus): Shows a search for "smart cit*" AND "sensor" within article titles, abstracts, and keywords. The search returned 366 documents. The interface includes options to refine search, export, download, and view citation overview. The search is sorted by date (newest).

This screenshot shows the Web of Science search interface. The search query is "smart cit*" AND "sensor" (Topic), resulting in 60 documents. The interface includes a search bar, a breadcrumb trail, and a list of quick-add keywords such as "smart cities", "smart city", "wireless sensor network", "iot", and "internet of things iot". The results are refined by "Document Types: Article". At the bottom, there are buttons for "Analyze Results", "Citation Report", and "Create Alert". The system tray at the bottom shows the time as 18:11 on 20/10/2024.

This screenshot shows the Scopus search interface. The search query is "smart cit*" AND "citizen cen*", resulting in 81 documents found. The interface includes a search bar, a breadcrumb trail, and a list of quick-add keywords such as "smart governance", "smart city", "smart cities", "urban planning", and "citizenship". The results are refined by "Document Types: Article". At the bottom, there are buttons for "Analyze Results", "Citation Report", and "Create Alert". The system tray at the bottom shows the time as 18:13 on 20/10/2024.

This screenshot shows the Web of Science search interface. The search query is "smart cit*" AND "citizen cen*" (Topic), resulting in 38 documents. The interface includes a search bar, a breadcrumb trail, and a list of quick-add keywords such as "smart governance", "smart city", "smart cities", "urban planning", and "citizenship". The results are refined by "Document Types: Article". At the bottom, there are buttons for "Analyze Results", "Citation Report", and "Create Alert". The system tray at the bottom shows the time as 18:14 on 20/10/2024.

The screenshot shows the Scopus search interface. At the top left is the UCS logo (Universidade Estadual de Goiás). The navigation bar includes 'Search', 'Lists', 'Sources', 'SciVal', and 'Create account' / 'Sign in' buttons. A welcome message states: 'Welcome to a more intuitive and efficient search experience. See what is new'. The search bar contains the query: 'smart cit*' AND 'citizen sat*'. Below the search bar, there are options to 'Save search', 'Set search alert', and 'Add search field'. The search results section shows '8 documents found'. Refinement options include 'All', 'Export', 'Download', 'Citation overview', 'MoreShow all abstracts', and 'Sort by Date (newest)'. The bottom of the interface shows a Windows taskbar with the date 20/10/2024 and time 18:16.

The screenshot shows the Web of Science search interface. At the top left is the Clarivate logo. The navigation bar includes 'English', 'Products', 'Sign In', and 'Register' buttons. The search bar contains the query: 'smart cit*' AND 'citizen sat*' (Topic). Below the search bar, there are options to 'Add Keywords' and 'Refined By: Document Types: Article X'. The search results section shows '4 results from Web of Science Core Collection for:'. Below the search bar, there are options to 'Copy query link', 'Analyze Results', 'Citation Report', and 'Create Alert'. The bottom of the interface shows a Windows taskbar with the date 20/10/2024 and time 18:18.

Fonte: dados da pesquisa (2024).

ANEXO A – ISO 37122

Dimensão ISO 37122	Indicador	ODS relacionado	Relação com ISO 37101
6. Educação	6.1 Percentual de população com proficiência profissional em mais de um indivíduo idioma	<p>- Objetivo 4: Garantir uma educação de qualidade inclusiva e eqüitativa e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos</p> <p>- Objetivo 8: Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos.</p>	<p>Educação e desenvolvimento de capacidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar - Resiliência
7. Energia	7.10 Número de estações de carregamento de veículos elétricos por veículo elétrico registrado	<p>- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis</p> <p>- Objetivo 12: Garantir padrões de consumo e produção sustentáveis</p>	<p>Saúde e cuidados na comunidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar - Preservação e melhoria do meio ambiente <p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar - Preservação e melhoria do meio ambiente
8. Meio ambiente e mudança climática	8.1 Porcentagem de edifícios construídos ou reformados nos últimos 5 anos em conformidade com princípios de construção verde	<p>- Objetivo 7: Garantir acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos</p> <p>- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis</p>	<p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar - Uso responsável dos recursos <p>Infraestruturas comunitárias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade

			<ul style="list-style-type: none"> - Bem-Estar - Uso responsável dos recursos
	8.2 Número de estações de monitoramento remoto da qualidade do ar em tempo real por quilômetro quadrado (km ²)	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 3: Garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos em todas as idades - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis 	<p>Saúde e cuidados na comunidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar - Preservação e melhoria do meio ambiente <p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar - Preservação e melhoria do meio ambiente
	8.3 Porcentagem de edifícios públicos equipados para monitorar a qualidade do ar interior	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 3: Garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos em todas as idades - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis 	<p>Saúde e cuidados na comunidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bem-Estar <p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bem-Estar
10. Governança	10.3 Tempo médio de resposta aos inquéritos feitos através do sistema de inquérito não emergencial da cidade (dias)	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 16: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis. 	<p>Governança, empoderamento e engajamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar <p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar
11. Saúde	11.1 Porcentagem da população da cidade com um arquivo de saúde unificado on-line acessível aos prestadores de serviços de saúde	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 3: Garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos em todas as idades 	<p>Saúde e cuidados na comunidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bem-Estar - Resiliência

	11.2 Número anual de consultas médicas realizadas remotamente por 100.000 habitantes	- Objetivo 3: Garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos em todas as idades	Saúde e cuidados na comunidade: - Coesão Social - Bem-Estar - Resiliência
	11.3 Porcentagem da população da cidade com acesso a sistemas de alerta público em tempo real para alertas de qualidade do ar e da água	- Objetivo 3: Garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos em todas as idades - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis	Saúde e cuidados na comunidade: - Bem-Estar - Resiliência
13. População e condições sociais	13.1 Porcentagem de edifícios públicos que são acessíveis a pessoas com necessidades especiais	- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis	Convivência, interdependência e mutualidade: - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar Ambiente de vida e de trabalho: - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar
	13.2 Porcentagem do orçamento municipal destinada ao fornecimento de ajudas de mobilidade, dispositivos e tecnologias de assistência aos cidadãos com necessidades especiais	- Objetivo 10: Reduzir a desigualdade dentro e entre países - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis	Governança, empoderamento e engajamento: - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar Convivência, interdependência e mutualidade: - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar

	13.3 Porcentagem de passagens de pedestres marcadas equipadas com sinais de pedestres acessíveis	<p>- Objetivo 9: Construir uma infraestrutura resistente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação</p> <p>- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis</p>	<p>Convivência, interdependência e mutualidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar <p>Infraestruturas comunitárias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar
	13.4 Porcentagem do orçamento municipal destinada à provisão de programas designados para a eliminação da exclusão digital	<p>- Objetivo 4: Garantir uma educação de qualidade inclusiva e equitativa e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos</p> <p>- Objetivo 8: Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos.</p> <p>- Objetivo 10: Reduzir a desigualdade dentro e entre países</p>	<p>Governança, empoderamento e engajamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar <p>Convivência, interdependência e mutualidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar
14. Recreação	14.1 Porcentagem de serviços públicos de recreação que podem ser reservados on-line	- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis	<p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bem-Estar
15. Segurança	15.1 Porcentagem da área da cidade coberta por câmeras de vigilância digitais	- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis	<p>Segurança e proteção:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar
17. Esporte e cultura	17.1 Número de reservas on-line para instalações culturais por 100.000 habitantes	- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis	<p>Educação e desenvolvimento de capacidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coesão Social - Bem-Estar

			<p>Cultura e identidade comunitária:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coesão Social - Bem-Estar
	17.3 Número de títulos de livros e e-books de bibliotecas públicas por 100 000 habitantes	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 4: Garantir uma educação de qualidade inclusiva e eqüitativa e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis 	<p>Educação e desenvolvimento de capacidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coesão Social - Bem-Estar
	17.4 Porcentagem da população da cidade que são usuários ativos de bibliotecas públicas	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 4: Garantir uma educação de qualidade inclusiva e eqüitativa e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis 	<p>Educação e desenvolvimento de capacidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coesão Social - Bem-Estar
19. Transporte	19.1 Porcentagem de ruas e vias cobertas por alertas e informações de tráfego online em tempo real	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 9: Construir uma infraestrutura resistente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis 	<p>Infraestruturas comunitárias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar - Preservação e melhoria do meio ambiente <p>Mobilidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar - Preservação e melhoria do meio ambiente
	19.2 Número de usuários de transporte de economia compartilhada por 100.000 habitantes		<p>Convivência, interdependência e mutualidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social

		<ul style="list-style-type: none"> - Bem-Estar <p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Preservação e melhoria do meio ambiente <p>Mobilidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar
19.3 Porcentagem de veículos registrados na cidade que são veículos de baixa emissão	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis - Objetivo 12: Garantir padrões de consumo e produção sustentáveis 	<p>Saúde e cuidados na comunidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar - Preservação e melhoria do meio ambiente <p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Bem-Estar
19.4 Número de bicicletas disponíveis através de serviços municipais de compartilhamento de bicicletas por 100.000 habitantes	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis 	<p>Infraestruturas comunitárias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar <p>Mobilidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social - Bem-Estar
19.5 Porcentagem de linhas de transporte público equipadas com um sistema de acesso público em tempo real	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo 9: Construir uma infraestrutura resistente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação - Objetivo 11: Tornar as 	<p>Infraestruturas comunitárias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atratividade - Coesão Social

	<p>idades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis</p>	<p>- Bem-Estar</p> <p>Mobilidade:</p> <p>- Atratividade</p> <p>- Coesão Social</p> <p>- Bem-Estar</p>
<p>19.6 Porcentagem dos serviços de transporte público da cidade cobertos por um sistema de pagamento unificado</p>	<p>- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis</p>	<p>Infraestruturas comunitárias:</p> <p>- Atratividade</p> <p>- Coesão Social</p> <p>- Bem-Estar</p> <p>Mobilidade:</p> <p>- Atratividade</p> <p>- Coesão Social</p> <p>- Bem-Estar</p>
<p>19.7 Porcentagem de vagas de estacionamento público equipadas com sistemas de pagamento eletrônico</p>		<p>Infraestruturas comunitárias:</p> <p>- Atratividade</p> <p>- Bem-Estar</p> <p>Mobilidade:</p> <p>- Atratividade</p> <p>- Bem-Estar</p>
<p>19.8 Porcentagem de vagas de estacionamento público equipadas com sistemas de disponibilidade em tempo real</p>	<p>- Objetivo 9: Construir uma infraestrutura resistente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação</p>	<p>Infraestruturas comunitárias:</p> <p>- Bem-Estar</p> <p>- Preservação e melhoria do meio ambiente</p> <p>Mobilidade:</p> <p>- Bem-Estar</p> <p>- Preservação e melhoria do meio ambiente</p>
<p>19.9 Porcentagem de semáforos smart/inteligentes</p>	<p>- Objetivo 9: Construir uma infraestrutura resistente, promover a industrialização</p>	<p>Infraestruturas comunitárias:</p>

		<p>inclusiva e sustentável e fomentar a inovação</p> <p>- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis</p>	<p>- Atratividade</p> <p>- Coesão Social</p> <p>- Bem-Estar</p>
	<p>19.10 Área da cidade mapeada por mapas de ruas interativos em tempo real como uma porcentagem da área total de terreno da cidade</p>	<p>- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis</p>	<p>Infraestruturas comunitárias:</p> <p>- Bem-Estar</p> <p>- Preservação e melhoria do meio ambiente</p> <p>Mobilidade:</p> <p>- Bem-Estar</p> <p>- Preservação e melhoria do meio ambiente</p>
	<p>19.12 Porcentagem de rotas de transporte público com conectividade à Internet fornecida e/ou gerenciada pelo município para quem se desloca</p>	<p>- Objetivo 9: Construir uma infraestrutura resistente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação</p>	<p>Infraestruturas comunitárias:</p> <p>- Atratividade</p> <p>- Bem-Estar</p> <p>Mobilidade:</p> <p>- Atratividade</p> <p>- Bem-Estar</p>
<p>20. Agricultura urbana/local e segurança alimentar</p>	<p>20.3 Porcentagem da área de terra da cidade coberta por um sistema de mapeamento online de fornecedores de alimentos</p>	<p>- Objetivo 2: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável</p>	<p>Saúde e cuidados na comunidade:</p> <p>- Resiliência</p> <p>Economia e produção e consumo sustentável:</p> <p>- Bem-Estar</p> <p>- Resiliência</p>
<p>21. Planejamento urbano</p>	<p>21.4 Porcentagem da população da cidade que vive em densidades populacionais médias a altas</p>	<p>- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resistentes e sustentáveis</p> <p>- Objetivo 15: Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas</p>	<p>Ambiente de vida e de trabalho:</p> <p>- Atratividade</p> <p>- Coesão Social</p>

		terrestres, gerenciar de forma sustentável as florestas, combater a desertificação e deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.	- Bem-Estar
--	--	--	-------------

ANEXO B – TEMAS DOS ARTIGOS E VÍNCULO COM A ISO 37122

Tema principal dos artigos	Qtd	Percentual	Vínculo com ISO 37122
Design SC com sensores	97	32,99%	não
Mobilidade – tráfego	20	6,80%	sim
Qualidade do ar	18	6,12%	sim
Energia - alimentação dos sensores	16	5,44%	não
Segurança e Privacidade	11	3,74%	não
Mobilidade – veículos	10	3,40%	sim
Detecção de incidentes	9	3,06%	não
Mobilidade – estacionamento	9	3,06%	não
Ruído	9	3,06%	não
Segurança da cidade	8	2,72%	não
Ambientais	7	2,38%	não
Iluminação	7	2,38%	não
Plataforma de sensores	7	2,38%	não
Reconhecimento ou rastreamento de objetos, pessoas ou movimento.	6	2,04%	não
Geoposicionamento	5	1,70%	não
Infraestrutura <i>hardware</i> ou <i>software</i>	5	1,70%	não
Resíduos Sólidos	5	1,70%	não
Saúde	4	1,36%	sim
Conceitual	3	1,02%	não
Energia	3	1,02%	sim
Mobilidade – pedestre	3	1,02%	não
Água – nível	2	0,68%	sim
Água – gestão	2	0,68%	sim
Alimentação	2	0,68%	sim
Contagem de pessoas	2	0,68%	não
Economia	2	0,68%	não
Emoções	2	0,68%	não
Redes Sociais	2	0,68%	não
Acompanhamento de obras	1	0,34%	não
Água – qualidade	1	0,34%	sim
Cidadão como sensor	1	0,34%	não
Contratos	1	0,34%	não
Dados abertos	1	0,34%	sim
Deficientes físicos	1	0,34%	não
Distanciamento Social	1	0,34%	não
Sensoriamento + Geoposicionamento	1	0,34%	não
História da cidade	1	0,34%	não
Indústria 4.0	1	0,34%	não
<i>Machine Learning</i>	1	0,34%	não
Mobilidade > transporte público	1	0,34%	sim
Novos sensores	1	0,34%	não
Pessoas desaparecidas	1	0,34%	não
Processamento de imagens	1	0,34%	não
Resíduos Líquidos	1	0,34%	sim
Saneamento – alagamento	1	0,34%	sim
Volume de dados	1	0,34%	não
TOTAL	294	100,00%	
RELACIONADOS COM ISO 37122	66	22,45%	