



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LUCAS FELIPE BARROS XAVIER

**AVALIAÇÃO DAS CIDADES BRASILEIRAS NA PERSPECTIVA DE CIDADES
INTELIGENTES: Uma Análise de Cluster e Iniciativas de Tecnologia da Informação**

Caruaru
2023

LUCAS FELIPE BARROS XAVIER

**AVALIAÇÃO DAS CIDADES BRASILEIRAS NA PERSPECTIVA DE CIDADES
INTELIGENTES: Uma Análise de Cluster e Iniciativas de Tecnologia da Informação**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

X3a Xavier, Lucas Felipe Barros.

Avaliação das cidades brasileiras na perspectiva de cidades inteligentes: uma análise de cluster e iniciativas de tecnologia da informação. / Lucas Felipe Barros Xavier. – 2023.
114 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, 2023.
Inclui Referências.

1. Cidades inteligentes. 2. Planejamento urbano. 3. Tecnologia da informação. 4. Clusters. 5. K-means. I. Lima, Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2023-064)

LUCAS FELIPE BARROS XAVIER

**AVALIAÇÃO DAS CIDADES BRASILEIRAS NA PERSPECTIVA DE CIDADES
INTELIGENTES: Uma Análise de Cluster e Iniciativas de Tecnologia da Informação**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima

Aprovada em: 23/08/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^ª. Dr^ª Tharcylla Rebecca Negreiros Clemente (Examinadora Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^ª. Dr^ª. Veruschka Vieira Franca
Universidade Federal de Sergipe - UFS

Embora seja muito pouco para oferecê-lo, dedico esta pesquisa a Deus, que tudo me fornece para realização de qualquer empreendimento.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, manifesto minha gratidão a Deus, pois reconheço sua provisão em me conceder capacidade para desenvolver todos os projetos durante a minha vida, bem como abrir e fechar as portas de acordo com Sua soberana vontade. Inclusive, por meio da minha amada irmã Rebeca a quem também expressei gratidão, Ele me conduziu para inscrição no mestrado e está permitindo a conclusão através dessa pesquisa. Além disso, todos os demais agradecimentos seguintes são decorrentes de Sua graça.

Hoje também sou extremamente grato à minha esposa Lívia, que no decorrer dessa jornada sempre esteve ao meu lado com seu inestimável auxílio e incentivo diante das dificuldades que se apresentaram.

Agradeço profundamente aos meus pais, Josué e Sandra, pela presença constante em minha vida, transmitindo valiosos ensinamentos, conselhos e valores, bem como por todo amor e dedicação fundamentais em minha vida. Minha profunda gratidão também se estende à minha tia Josineide. Sinto-me verdadeiramente privilegiado por tê-la em minha vida, uma pessoa que, mesmo distante, consegue estar presente de maneira significativa.

A minha professora e orientadora, Ana Paula, que desempenhou suas atividades com maestria. Um modelo de pessoa e profissional que levarei para vida. Obrigado pela confiança, paciência, pelo acompanhamento e por toda disposição em ajudar, sempre me conduzindo a busca por conhecimento com sua brilhante orientação.

Ao querido sobrinho Levi Alonso (*in memoriam*), pelo seu exemplo de vida ao enfrentar grandes desafios, que me inspira a continuar, e pelo seu inestimável carinho. A todos os professores por compartilharem um pouco de seus conhecimentos, enriquecendo minha formação acadêmica. Aos amigos e colegas conquistados no PPGEP-CAA por todo suporte durante este percurso, especialmente a Everton, Kennedy e Hugo. A parceria de pesquisa formada com Breno, uma pessoa incrível a qual tive a chance de conhecer durante minha jornada acadêmica, cuja figura foi indispensável para o desenvolvimento deste estudo. Além desses, não posso deixar de mencionar meus velhos amigos, especialmente Hugo W. e Cleber T., amigos ímpares.

Agradeço também a FACEPE (IBPG-1315-3.08/20) pelo financiamento dessa pesquisa, bem como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio.

Sou grato pela oportunidade de estar diante da conclusão desta pesquisa, uma trajetória árdua, mas vitoriosa. Esse marco não teria sido possível sem a participação e o apoio de cada um de vocês, logo, também fazem parte dessa conquista. Por isso manifesto mais uma vez, meu mais sincero agradecimento a todos!

“Antes de tudo, sou grato a meu Deus...” (BÍBLIA, 2023)

RESUMO

A temática das cidades inteligentes tem ganhado crescente relevância ao longo dos anos, impulsionada principalmente pelo fenômeno da rápida urbanização e pela adoção de Tecnologias da Informação (TI) para otimização do sistema urbano. Diante desse contexto, torna-se relevante tanto para a comunidade acadêmica quanto para os responsáveis pelo planejamento urbano identificar e analisar os fatores críticos e modelos de avaliação das cidades, considerando as diversas dimensões que as compõem e os desafios enfrentados. No entanto, não há um consenso claro e universal sobre a definição de cidades inteligentes, o que gera uma lacuna na abordagem das diversas tipologias e comportamentos urbanos relacionados ao uso de TI no contexto do planejamento urbano voltado para cidades inteligentes. Neste trabalho, foi usada a definição da Carta Brasileira para Cidades Inteligentes como referência para as análises realizadas, que define as cidades inteligentes como municípios que buscam desenvolvimento urbano sustentável, digital e caracterizam-se por uma abordagem planejada, inovadora, inclusiva e em rede, usando tecnologias para melhoria global e criação de cidades conectadas. A presente pesquisa tem como objetivo analisar e classificar as cidades brasileiras no contexto de cidades inteligentes e identificar as iniciativas de TI empregadas para tal fim. Para isso, foi levado em consideração as particularidades do cenário brasileiro. Os resultados deste estudo permitiram classificar o panorama atual das cidades inteligentes no Brasil em três clusters com base em suas características distintas. Essa classificação foi analisada através de diferentes metodologias, o que revelou seus principais aspectos e diferenças. Além disso, foram identificadas as principais iniciativas em TI implementadas por algumas cidades de cada cluster identificado pelo estudo. Os desempenhos de cada cluster também foram avaliados a partir dos eixos temáticos e indicadores associados, proporcionando uma visão detalhada do comportamento dessas cidades em áreas como segurança, saúde, educação, entre outras. Essa abordagem possibilita que os gestores municipais verifiquem os respectivos desempenhos e atributos em relação ao conceito de cidades inteligentes. Essas descobertas fornecem uma compreensão aprofundada das cidades inteligentes no país e apontam diretrizes importantes para que os gestores e responsáveis pelo planejamento urbano possam tomar decisões embasadas em dados concretos, e com isso, impulsionar o desenvolvimento inteligente e sustentável das cidades com o desenvolvimento de políticas estratégicas no âmbito urbano e tecnológico. Ainda, foi possível contribuir para mitigação da lacuna detectada na literatura.

Palavras-chave: Cidades inteligentes. Tecnologia da informação. Planejamento urbano. *K-means*. Clusterização.

ABSTRACT

The theme of smart cities has gained increasing relevance over the years, primarily driven by the phenomenon of rapid urbanization and the adoption of Information Technologies (IT) to optimize the urban system. Within this context, it becomes imperative for both the academic community and urban planners to identify and analyze critical factors and evaluation models for cities, considering the various dimensions that constitute them and the challenges they face. However, there is no clear and universal consensus on the definition of smart cities, which creates a gap in addressing the various typologies and urban behaviors related to the use of IT in the context of urban planning for smart cities. In this work, the definition provided by the Brazilian Charter for Smart Cities was used as a reference for the conducted analyses. This definition characterizes smart cities as municipalities seeking sustainable and digital urban development, characterized by a planned, innovative, inclusive, and networked approach, using technologies for global improvement and the creation of connected cities. The aim of this research is to analyze and classify Brazilian cities within the context of smart cities and identify the IT initiatives employed for this purpose. The specificities of the Brazilian scenario were taken into account. The results of this study facilitated the classification of the current panorama of smart cities in Brazil into three clusters based on their distinct characteristics. This classification was analyzed using different methodologies, revealing their main aspects and differences. Additionally, the primary IT initiatives implemented by some cities in each identified cluster were identified. The performance of each cluster was also evaluated based on thematic axes and associated indicators, offering a detailed view of these cities' behavior in areas like security, healthcare, education, among others. This approach allows municipal managers to assess their respective performance and attributes concerning the concept of smart cities. These findings provide a deep understanding of smart cities in the country and point out crucial guidelines for managers and urban planning authorities to make well-informed decisions, thus driving intelligent and sustainable urban development through strategic policies in the urban and technological realms. Furthermore, this study has contributed to addressing the literature gap.

Keywords: Smart cities. Information technology. Urban planning. K-means. Clustering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Operadores booleanos e protocolo de pesquisa	28
Figura 2 –	Fluxo para a pesquisa das publicações	29
Gráfico 1 –	Documentos publicados por ano	30
Gráfico 2 –	Documentos por país	31
Gráfico 3 –	Documentos por área de estudo	33
Quadro 1 –	Artigos encontrados como estudos de casos para análise qualitativa	33
Figura 3 –	Fluxo de etapas da pesquisa	42
Gráfico 4 –	Análise do número ótimo de clusters	45
Quadro 2 –	Eixos temáticos e seus respectivos indicadores	48
Figura 4 –	Etapas da definição das regiões de influência e da hierarquia dos centros urbanos	52
Figura 5 –	Rede urbana na perspectiva de influência hierárquica	53
Figura 6 –	Cidades selecionadas para a amostra	54
Gráfico 5 –	Plotagem dos clusters encontrados	55
Quadro 3 –	Listagem dos clusters obtidos	56
Figura 7 –	Disposição geográfica das cidades	57
Gráfico 6 –	Gráfico radar do eixo mobilidade e acessibilidade	61
Gráfico 7 –	Gráfico radar do eixo urbanismo	63
Gráfico 8 –	Gráfico radar do eixo meio ambiente	65
Gráfico 9 –	Gráfico radar do eixo de energia	66
Gráfico 10 –	Gráfico radar do eixo de tecnologia e inovação	68
Gráfico 11 –	Gráfico radar do eixo de saúde	70
Gráfico 12 –	Gráfico radar do eixo de segurança	71
Gráfico 13 –	Gráfico radar do eixo de educação	72
Gráfico 14 –	Gráfico radar do eixo de empreendedorismo	74
Gráfico 15 –	Gráfico radar do eixo de governança	75
Gráfico 16 –	Gráfico radar do eixo de economia	77
Quadro 4 –	Resumo das características dos Clusters	80
Quadro 5 –	Resumo das iniciativas do Cluster 1	87
Quadro 6 –	Resumo das iniciativas do Cluster 2	94
Quadro 7 –	Resumo das iniciativas do Cluster 3	96
Figura 8 –	1º parte do código R utilizado	114
Figura 9 –	2º parte do código R utilizado	114

SUMÁRIO

1	<i>INTRODUÇÃO</i>	12
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivo geral	15
1.3	Objetivos específicos	16
1.4	Estrutura da dissertação	16
2	<i>BASE TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA</i>	18
2.1	Planejamento urbano	18
2.2	Tecnologia da informação no contexto urbano	21
2.3	Cidades inteligentes	23
2.4	Revisão Sistemática da Literatura	27
2.4.1	Análise dos estudos de casos	33
2.5	Modelos de avaliação	37
2.6	Clusterização k-means	39
3	<i>METODOLOGIA</i>	41
3.1	Caracterização do estudo	41
3.2	Síntese dos estágios da pesquisa	42
4	<i>ANÁLISE E RESULTADOS</i>	47
4.1	Análise dos dados	47
4.2	Análise de cluster das cidades brasileiras	54
4.2.1	Análise do regime de influência das cidades pela REGIC	58
4.3	Análise dos clusters por eixo temático	60
4.3.1	Mobilidade e acessibilidade	60
4.3.2	Urbanismo	62
4.3.3	Meio ambiente	64
4.3.4	Energia	66
4.3.5	Tecnologia e inovação	67
4.3.6	Saúde	69
4.3.7	Segurança	70
4.3.8	Educação	72
4.3.9	Empreendedorismo	73
4.3.10	Governança	75
4.3.11	Economia	76
4.4	Caracterização dos clusters	77

4.5	Identificação das iniciativas em TI	81
5	<i>CONCLUSÕES</i>	98
	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE A – CÓDIGO R UTILIZADO PARA RODAR O ALGORITMO	114

1. INTRODUÇÃO

As concentrações populacionais nos centros urbanos e a forma acelerada como ocorreu a urbanização dessas áreas implicam em problemas para gestão pública (DODMAN, 2017). As projeções para os próximos 30 anos, fornecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU), requerem atenção dos setores responsáveis por administrar essa elevada taxa de urbanização, pois através desse crescimento surgem diversos desafios no contexto urbano, necessitando de novas abordagens (POMÁZI, 2012; UNITED NATIONS, 2015; KESHAVARZI; YILDIRIM; AREFI, 2021). O crescimento urbano acelerado engendra desafios multifacetados, incluindo o congestionamento do tráfego, a escassez de recursos, desigualdades sociais e questões de segurança pública. O estudo das cidades inteligentes oferece uma abordagem abrangente para enfrentar esses problemas, aplicando tecnologia e inovação na busca de cidades mais eficientes, sustentáveis, seguras e socialmente inclusivas.

Dentro desse contexto, o conceito de cidade inteligente tem sido bastante abordado nas discussões acadêmicas e políticas nos últimos tempos (BIFULCO et al., 2016; PRAHARAJ; HAN, 2019). Embora haja uma gama de abordagens para definir uma cidade inteligente, o conceito geralmente se refere a uma cidade instrumentada, interconectada e inteligente que usa a Tecnologia da Informação (TI) para captar, analisar e integrar informações críticas em sistemas centrais em cidades em funcionamento (DOOST; REZAIE, 2020).

Segundo Law e Lynch (2019), as TI proporcionam meios que auxiliam a obtenção e processamento eficaz do enorme volume de dados gerados constantemente nos ambientes urbanos, permitindo melhor entendimento, análise e aprimoramentos dos sistemas urbanos. Através das ferramentas da TI, é possível atuar sob uma nova ótica para captação de informações, que resultam em apoio à tomada de decisão e geram novas possibilidades para os planejadores e para o relacionamento entre cidades e cidadãos (ZHENG et al., 2014).

García-Fuentes et al. (2017) discutem que o conceito de cidades inteligentes propicia em seu sentido um sistema urbano otimizado, dispondo dos dados através de tecnologias digitais como Internet das Coisas (IoT), *Big Data* (BD), Inteligência Artificial (AI), entre outras. Viabilizando, por meio dessas tecnologias, o acompanhamento em tempo real de várias atividades e dados gerados, fazendo uso dessas informações de forma cada vez mais precisa para melhorar o serviço e a qualidade de vida dos centros urbanos (GUELZIM; OBAIDAT; SADOON, 2016).

As cidades inteligentes exigem grandes volumes de investimento e o capital investido neste setor provavelmente crescerá a cada ano durante décadas (GARCÍA-FUENTES et al.,

2017). De acordo com Sharifi (2020), nos últimos anos, um número crescente de projetos de cidades inteligentes surgiu usando uma variedade de métodos, dimensões e tipologias para abordar as políticas, objetivos, financiamento e escopos específicos de cidades dentro de projetos planejados.

A “inteligência” urbana pode ser identificada através da avaliação de muitas características que podem ser agrupadas em algumas dimensões: Segurança, Transporte, Educação, Economia, Meio Ambiente, Saúde, Energia, Comunicação, Infraestrutura, Governança, entre outras (BIBRI; KROGSTIE, 2017; GIFFINGER et al., 2007; NASRAWI; ADAMS; EL-ZAART, 2016; SHARIFI, 2020).

Com relação aos modelos de avaliação de cidades inteligentes, observa-se que muitos modelos têm sido propostos na última década. No entanto, as pesquisas sobre sua tipologia ainda são muito limitadas. Os estudos existentes geralmente cobrem um número limitado de esquemas de avaliação, sem fornecer informações sobre sua tipologia. Esses estudos fornecem uma visão geral dos esquemas e seus métodos de avaliação ou tendem a focar principalmente a gama e o tipo de indicadores usados para a avaliação (SHARIFI, 2020). Ainda, de acordo com Praharaj e Han (2019), não se verifica na literatura muitos trabalhos em que a tipologia urbana é utilizada para desenvolver um sistema de classificação urbana baseado em indicadores em um contexto de cidade inteligente. Essa abordagem, aliada ao foco na tecnologia, desempenha um papel crucial para que as cidades possam enfrentar os diversos desafios que se apresentam, pois permite uma compreensão aprofundada das características e condições das cidades, classificando-as de forma precisa e considerando suas particularidades e necessidades específicas. Com isso, torna-se possível desenvolver estratégias e políticas mais adequadas, direcionadas para o crescimento sustentável, a melhoria da qualidade de vida da população e a solução de problemas urbanos complexos.

Compreender as diversas ferramentas e o uso da TI nas estratégias de planejamento das cidades inteligentes continua sendo um desafio para os pesquisadores e planejadores urbanos. Essa complexidade é acentuada pelas particularidades de cada região, que demandam abordagens específicas. Nesse contexto, o presente estudo busca contribuir para o avanço do conhecimento nessa área, com o objetivo de, através de uma metodologia formal, classificar as cidades brasileiras no contexto de cidades inteligentes e identificar as iniciativas de TI. Para isso, foi levado em consideração as particularidades do cenário brasileiro. Através da análise de clusters, utilizando o método *k-means*, foi possível classificar cidades brasileiras em três clusters com relação as dimensões utilizadas para definição de uma cidade inteligente. A performance dos clusters foi avaliada com base nos eixos temáticos e indicadores associados,

e as principais iniciativas de TI adotadas por algumas cidades de cada cluster foram identificadas.

1.1. Justificativa

Diante do expressivo crescimento da população urbana no Brasil, que aumentou em 9,2 milhões de pessoas entre 2010 e 2022 segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), torna-se imprescindível o estudo e compreensão das cidades inteligentes como forma de enfrentar os desafios urbanos e ambientais. A partir desse cenário global e com o uso cada vez mais comum de TI, se torna relevante divulgar as mais recentes descobertas, entender as diferentes aplicações e classificar as cidades brasileiras para identificar os seus principais atributos no contexto de cidades inteligentes. Com isso, é possível fornecer um panorama efetivo das cidades brasileiras, bem como suporte para melhoria das condições urbanas (mobilidade, segurança, etc).

Nesse sentido, vale destacar também que Lazzaretti et al. (2019), em uma pesquisa desenvolvida sobre insights e contribuições das pesquisas brasileiras a respeito de cidades inteligente, sugere como pesquisa futura, análise de dados que apoiem a tomada de decisão do gestor público em iniciativas relativas à gestão de cidades inteligentes. Camero e Alba (2019), em sua pesquisa sobre *smart city* e TI, identificam ainda, uma carência de estudos voltados para o planejamento urbano e recomendações de políticas, sugerindo, que os pesquisadores podem não estar considerando o real potencial que existe em suas pesquisas, que possuem a capacidade de contribuir com o aprimoramento das atividades exercidas pela gestão urbana.

Embora os rankings sejam úteis para identificar vários elementos relacionados às cidades inteligentes e distinguir aquelas consideradas mais inteligentes, eles não conseguem captar as diferentes estratégias adotadas por cada cidade. Esse estudo tem como objetivo superar essa limitação, fornecendo uma classificação que vai além dos rankings tradicionais. Não se buscou determinar qual é a melhor cidade inteligente, mas sim compreender as estratégias implementadas e investigar se todas as cidades são inteligentes de maneira semelhante. A partir dessa abordagem, pretende-se estabelecer um processo baseado em evidências para a tomada de decisões em políticas relacionadas às cidades inteligentes. Para tanto, será utilizada a análise de cluster como método de análise de dados.

Além da relevância da temática das cidades inteligentes para o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas. A proposta do presente estudo está alinhada com a Carta Brasileira para Cidades Inteligentes, lançada em dezembro de 2020,

se trata de um documento nacional de referência elaborado em colaboração com diversas entidades e especialistas. A carta tem como propósito estabelecer diretrizes e princípios para orientar o processo de transformação das cidades brasileiras em ambientes inteligentes, por meio do uso da tecnologia e inovação. Através de suas diretrizes, a Carta Brasileira incentiva a adoção de soluções tecnológicas inovadoras, a participação cidadã, a eficiência na gestão pública, a sustentabilidade ambiental, entre outros aspectos importantes para a construção de cidades inteligentes. É dentro desse contexto que se insere a presente pesquisa, que busca contribuir para a compreensão e implementação das recomendações da Carta Brasileira, especialmente no que se refere ao objetivo estratégico número oito presente no documento, que destaca a necessidade de promover meios para ampliar a compreensão e avaliar, de forma contínua e sistêmica, os impactos da transformação digital nas cidades (BRASIL, 2020).

Nesse contexto, esta pesquisa visa contribuir para o avanço do conhecimento sobre as cidades brasileiras, por meio da caracterização e análise das cidades no contexto de cidades inteligentes, fornecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e tomada de decisões estratégicas, alinhadas com as diretrizes da Carta Brasileira para Cidades Inteligentes e seu oitavo objetivo estratégico.

A temática da dissertação, que aborda a avaliação das cidades brasileiras na perspectiva de cidades inteligentes, ainda está ligada aos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, que compõem uma agenda de ações e diretrizes para países de todo o mundo e visam uma prosperidade da população mundial em harmonia com o planeta até 2030. Cidades inteligentes não apenas representam um avanço na aplicação de tecnologias e inovações, mas também oferecem um caminho para atingir vários ODS. Aspectos como planejamento urbano, inclusão digital, melhoria na prestação de serviços públicos, segurança, saúde e educação, tratados na dissertação, têm conexões diretas com os objetivos da Agenda 2030. A análise proposta fornece informações para os gestores públicos e planejadores urbanos no direcionamento de suas estratégias em direção a cidades mais conectadas, inteligentes e sustentáveis, alinhando-se com os ideais da Agenda 2030 para o desenvolvimento global.

1.2. Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo geral fazer uso de uma metodologia formal para analisar e classificar as cidades brasileiras no contexto de cidades inteligentes, identificando as iniciativas de TI empregadas para tal fim.

1.3. Objetivos Específicos

- a) Analisar estudos relacionados à temática da utilização da TI combinada às técnicas de gestão urbana para concepção das cidades inteligentes;
- b) Implementar uma análise de cluster para classificar as cidades brasileiras;
- c) Contextualizar os clusters gerados para obter informações mais detalhadas sobre as cidades agrupadas;
- d) Analisar o comportamento dos clusters em relação aos eixos temáticos avaliados;
- e) Identificar as principais aplicações e iniciativas de TI implementadas pelas cidades de cada cluster.

1.4. Estrutura da dissertação

O presente estudo é composto por cinco capítulos que fornecem uma estrutura para a pesquisa. O primeiro capítulo aborda os aspectos iniciais para a contextualização do tema, onde é apresentada a introdução da pesquisa, seguida pela justificativa e pelos objetivos que orientam o estudo.

No capítulo 2, são apresentados a base teórica do estudo e a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que proporcionam um embasamento conceitual para a pesquisa. Nesse sentido, são abordados temas relevantes, como o planejamento urbano, a aplicação da TI no contexto urbano, os conceitos e características das cidades inteligentes, os modelos de avaliação utilizados para analisar as cidades inteligentes, bem como o método de clusterização *k-means*, que é empregado no estudo. Essa revisão da literatura busca oferecer um panorama abrangente e atualizado sobre os principais aspectos relacionados ao tema de pesquisa.

No capítulo 3, é apresentada a metodologia utilizada nesta dissertação, que engloba a caracterização do estudo e a síntese das etapas para realização da pesquisa. A metodologia descreverá detalhadamente o plano de ação adotado, incluindo a abordagem de pesquisa, a coleta e análise de dados, bem como os procedimentos adotados para alcançar os objetivos propostos.

Já no capítulo 4, são apresentadas as análises dos resultados encontrados, que se dividem em cinco seções. A primeira seção explora a análise dos dados e a fonte utilizada para obtê-los. Em seguida, serão apresentados os resultados da análise de cluster, juntamente com a análise do regime de influência das cidades. A terceira seção detalha o comportamento dos clusters em relação aos eixos temáticos analisados. A quarta parte fornece um resumo do contexto das principais características dos agrupamentos identificados. Por fim, são investigadas as

principais iniciativas voltadas para a área de TI implementadas por algumas cidades de cada cluster. Essa análise permite uma compreensão mais aprofundada das estratégias adotadas pelas cidades inteligentes em relação às suas iniciativas de TI.

Por último, na conclusão são apresentadas as reflexões sobre os resultados obtidos ao longo da pesquisa. Além disso, são destacadas as limitações do trabalho e sugeridas possíveis direções para trabalhos futuros.

2. BASE TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo fornecer uma base conceitual para o estudo das cidades inteligentes no contexto da TI e do planejamento urbano. Inicialmente, serão abordados os conceitos relacionados à urbanização no contexto brasileiro, juntamente com os desafios urbanos enfrentados atualmente. Em seguida, serão discutidos aspectos fundamentais do planejamento urbano, destacando-se a aplicação da TI no cenário urbano. Posteriormente, serão apresentadas definições de cidades inteligentes, seguidas de uma RSL que abrange o uso da TI no planejamento urbano com foco na concepção de cidades inteligentes. Por fim, serão exploradas as principais abordagens de avaliação das cidades inteligentes, com ênfase na análise de cluster, sendo utilizada neste estudo o método de agrupamento *k-means*.

2.1. Planejamento urbano

No contexto urbano, a cidade se configura como um ambiente complexo, composto por diversos atores que interagem e influenciam sua dinâmica. Espaços físicos, processos sociais, relações entre indivíduos, conflitos, interesses diversos, aspectos econômicos, culturais e outros elementos estão presentes simultaneamente nesse contexto. Essa interação multifacetada entre os elementos urbanos revela a evidente complexidade inerente às cidades (MENESES, 2017).

Segundo Dodman (2017), em meados de 1950, aproximadamente 29,4% de toda população global residia em áreas urbanas. No entanto, em 2010, esse percentual aumentou para 51,6%, e projeções indicam que em 2050 poderá chegar a cerca de 67,2%. Com relação ao conceito de meio ambiente e meio urbano, eles deixam de ter uma perspectiva paralela e passam a estar fortemente relacionados, pois as consequências ambientais são sentidas devido à alta urbanização. Dessa forma, embora essa concentração nas áreas urbanas traga boas oportunidades, as cidades enfrentam inúmeros desafios e efeitos adversos, como congestionamentos, mudanças climáticas causadas pela emissão de gases poluentes, gestão de resíduos e impacto na saúde humana (UNITED NATIONS, 2015; POMÁZI, 2012).

O Brasil, assim como outros países da América Latina, apresenta um significativo processo de urbanização, especialmente ao longo do século XX. Antes desse período, a vida urbana no Brasil em grande parte consistia em atividades administrativas voltadas para a organização e administração da produção agrícola. Durante uma década que encerrou o século XX, houve um aumento de aproximadamente 22.718.968 habitantes nas cidades brasileiras, um número considerável em comparação com a população de alguns países. Nesse rápido processo de crescimento, os meios coletivos demandados pela sociedade passaram por diversas

transformações, incluindo transporte, comunicação e saúde, o que teve um impacto significativo nos processos econômicos, sociais e demográficos, reconfigurando as áreas urbanas (MARICATO, 2001).

O rápido crescimento e aumento na demanda por moradia, serviços, recursos e infraestrutura, entre outras necessidades inerentes ao crescimento urbano, trazem consigo um ambiente desorganizado devido à falta de planejamento prévio, juntamente com a desigualdade social e o surgimento de muitas periferias. Essa é uma realidade brasileira, em que a expansão desordenada ocorre por meio da apropriação de terras para a construção de aglomerados de casas e loteamentos, muitas vezes através de invasões e construções irregulares. Além disso, ocorrem crimes ambientais, como aterramento de lagoas, córregos e agressões aos recursos naturais, o que causa a deterioração gradual das áreas ambientais e das abundantes fontes naturais (LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2019; MARICATO, 2001).

Portanto, são diversos os desafios que as cidades brasileiras precisam enfrentar, abrangendo aspectos sociais, urbanísticos e econômicos. Os cidadãos migram para as cidades em busca de melhores oportunidades financeiras e sociais, interessados em novas perspectivas econômicas. No entanto, as consequências do rápido crescimento urbano acarretam complicações para suprir até mesmo as necessidades básicas, como água, esgoto, habitação, energia elétrica, saúde, educação, entre outros. Assim, os aspectos do cenário local desempenham um papel crucial na definição das prioridades de ações que visam lidar com as diversas complicações surgidas, a fim de proporcionar uma melhor qualidade de vida para a população (DAMERI et al., 2019).

Diante dessas adversidades, as cidades desempenham um papel fundamental, sendo capazes de buscar soluções por meio da implantação de novos métodos e ferramentas que visam o controle e a otimização. Um exemplo disso é a promoção de melhorias nas questões climáticas, visando a redução da poluição urbana e a implementação de soluções energéticas por meio de ações econômicas, integradas e eficientes. Dessa forma, é possível alcançar resultados que trazem benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a qualidade de vida dos cidadãos (AHVENNIEMI et al., 2017).

Além disso, é essencial o envolvimento de diversas partes interessadas no desenvolvimento das cidades. Isso inclui a sociedade, que possui vivência diária nos centros urbanos e pode contribuir com percepções válidas. Também é importante contar com a participação das indústrias, das autoridades municipais e governamentais, que têm influência sobre o processo de planejamento, implementação e gerenciamento urbano (PIEKAS et al., 2018).

A garantia de uma qualidade de vida confortável, por meio do planejamento urbano adequado, é uma recomendação fundamental para qualquer contexto urbano. No entanto, o rápido aumento da população, aliado à complexidade na gestão dos desafios urbanos, traz consigo a ineficiência da mobilidade urbana, a falta de segurança, problemas relacionados ao saneamento básico, tratamento de resíduos sólidos e outras questões (CAMBOIM; ZAWISLAK; PUFAL, 2019).

Ao longo do tempo, o conceito de planejamento urbano tem passado por uma ressignificação, partindo de sua origem, quando se tratava principalmente de medidas higiênicas e combate a doenças transmitidas por agentes patogênicos presentes em ambientes urbanos inadequados. Com o passar da história e o aumento da densidade populacional, surgiram novas necessidades e problemas que requeriam ações coletivas por parte dos órgãos públicos, tais como a demanda por transporte público, saneamento básico, habitação, entre outros. Diante dessas demandas, o planejamento urbano passou por diversas modelagens e atualizações ao longo do tempo (SANTOS, 2012).

Santos (2012) destaca que o conceito de planejamento urbano passou por mudanças em sua definição ao longo do tempo. Anteriormente, estava centrado no poder do Estado, porém, atualmente, envolve a participação de diversos atores sociais. Essa transformação pode ser atribuída, em grande parte, à falta de eficácia do gerenciamento público em lidar com o rápido crescimento urbano.

Conforme destaca Piérola e Almeida (2016), é importante distinguir o conceito de urbanismo do planejamento urbano, pois eles possuem significados diferentes. O urbanismo é frequentemente usado erroneamente como sinônimo de planejamento urbano, mas na verdade se refere a um campo específico dentro da arquitetura. Por outro lado, o planejamento urbano é uma disciplina interdisciplinar que abrange diversas áreas de conhecimento e possui uma natureza gerencial. Portanto, é essencial que a gestão urbana seja embasada em diferentes campos de estudo para lidar com as complexidades integradas e assim alcançar resultados adequados.

Rattner (1964) aponta que o planejamento urbano não deve ser entendido apenas como um instrumento voltado para a organização física do espaço, como praças, edifícios, hospitais e ruas. É também responsabilidade do planejador urbano se envolver com a comunidade, buscando reorganizar os ambientes de uma perspectiva social. Isso implica combinar a infraestrutura física das áreas urbanas com todo o sistema que as envolve, visando melhorar todos os processos e alcançar eficiência como um todo.

Nesse sentido, Felipe et al. (2020) enfatiza que é fundamental que o planejamento urbano esteja estreitamente vinculado às questões sociais e socioeconômicas, reconectando-se com a realidade social. Isso implica adotar medidas que garantam a inclusão das partes mais vulneráveis da sociedade, oferecendo suporte social e econômico, e desenvolvendo ações que vão além do âmbito físico. Essa abordagem destaca que a gestão urbana engloba diversas esferas e todas elas devem ser consideradas em seus importantes projetos de ordenamento do espaço.

A prática do planejamento urbano envolve a integração de várias perspectivas futuras dos municípios, abrangendo diversas variáveis e mecanismos nos setores urbano, econômico, jurídico e social. Essa prática se torna uma tarefa desafiadora para os governos, pois exige lidar com múltiplos aspectos, além de considerar a realidade econômica do país. Um dos principais obstáculos para as finanças públicas é o aumento dos preços dos terrenos, mão de obra e matéria-prima, que são elementos essenciais para a construção de infraestrutura de qualidade exigida pelo crescimento urbano. Nesse sentido, torna-se necessário estabelecer parcerias, fusões e explorar alternativas que visem enfrentar esses grandes desafios e alcançar um planejamento urbano eficaz (RIBEIRO, 2012).

O planejamento urbano requer o apoio de medidas que proporcionem avanço em seus projetos e envolvam as partes interessadas, como gestores públicos, organizações públicas e privadas, bem como os cidadãos. Nesse contexto, a adoção da TI surge como uma oportunidade, oferecendo aplicações para diversos propósitos sociais e políticos, desempenhando um papel central no auxílio à gestão urbana (STRATIGEA; PAPADOPOULOU; PANAGIOTOPOULOU, 2015). O próximo tópico abordará os principais conceitos relacionados à TI no contexto do planejamento urbano, com foco nas cidades inteligentes.

2.2. Tecnologia da informação no contexto urbano

A partir dos anos 90, com o desenvolvimento da internet e das tecnologias de comunicação, houve uma facilitação na criação de empreendimentos que possibilitaram o compartilhamento de informações e a comunicação entre as autoridades. Como resultado, os dados e as informações passaram a fazer parte do cotidiano de muitos cidadãos, e o avanço dos componentes da TI levou a um aumento exponencial no volume de dados gerados diariamente (NEGRE; ROSENTHAL-SABROUX; GASCO, 2015).

A TI é responsável por processar e promover a comunicação por meio de informações e tecnologias. A sigla "TI" se popularizou junto com a disseminação da internet, mas sua origem remonta aos anos 1970, com a invenção de microcomputadores e processadores. Desde então,

a TI tem desempenhado um papel fundamental na evolução coletiva, impulsionando avanços tecnológicos e transformando a forma como interagimos e compartilhamos informações (SARDENBERG; MAIA, 2021).

A TI é definida como o conjunto de ferramentas computacionais e tecnológicas utilizadas para o gerenciamento das informações. Ela engloba atividades de processamento de dados e soluções baseadas em recursos computacionais. Em um sentido mais amplo, a TI abrange diversos sistemas de informação que compõem o conjunto de uma organização. Sua função é apoiar atividades de transformação de informações e é amplamente utilizada em diversos setores, como indústria, gestão de processos, negócios, economia, academia, governo, educação, entre outros. Dessa forma, a TI desempenha um papel fundamental ao coletar, armazenar, processar e gerar dados, fornecendo soluções para atividades e suporte em diferentes áreas. Sua utilização abrange desde tarefas comerciais, gerenciais e acadêmicas até atividades governamentais e educacionais. A TI é essencial para o gerenciamento eficiente da informação, facilitando a tomada de decisões e impulsionando o desenvolvimento em diversos campos. Ela desempenha um papel crucial na absorção, construção e utilização do conhecimento, influenciando diretamente as decisões tomadas pelos usuários. O desenvolvimento da internet e seus componentes têm possibilitado gradualmente a conexão entre diversos dispositivos em redes de alta capacidade. (MARTINS et al., 2012; SOUZA et al., 2017).

Essas tecnologias voltadas para tratamento de dados e comunicação podem se apresentar na forma de *hardware*, *software*, redes, dispositivos móveis e outras tecnologias de comunicação relacionadas. A terminologia TI, abreviando o "C" de comunicação, é a mais comumente utilizada e refere-se genericamente a qualquer recurso tecnológico voltado para o processamento e tratamento de dados (MIRANDA, 2020).

A TI possibilita que a população se torne potencial produtora de diversos tipos de dados, viabilizando assim a importante tarefa de geração de informações urbanas. Por meio das necessidades, experiências e desejos dos cidadãos, a TI permite que eles contribuam com dados relevantes para o planejamento urbano. Embora nem todos esses dados estejam diretamente relacionados ao planejamento urbano, cabe aos planejadores urbanos e demais partes envolvidas utilizar as ferramentas da TI para moldar e explorar esse instrumento de coleta de informações, a fim de criar um espaço urbano cada vez mais harmonioso. Nesse contexto, os planejadores e especialistas em ambiente urbano passam a ter acesso a informações cruciais para embasar seu processo decisório com base em dados (STRATIGEA; PAPADOPOULOU; PANAGIOTOPOULOU, 2015).

A importância da TI é indiscutível e tem sido amplamente discutida e aplicada em diversas áreas de estudo. Além disso, a TI foi reconhecida pelas Nações Unidas como um instrumento de implementação para alcançar os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. Isso demonstra que a TI possui um potencial significativo no progresso orientado para as cidades, uma vez que a sua utilização eficaz pode promover ambientes de alta qualidade de vida para os cidadãos por meio de um planejamento urbano sustentável (MACAYA; RIBEIRO; OYADOMARI, 2020).

No século XXI, temos observado avanços rápidos na área da TI e capacidade computacional, que estão reconfigurando a vida urbana de forma abrangente. Esses avanços têm impacto direto na interação social e espacial dos cidadãos. Transações e pagamentos são realizados de forma digital, aplicativos e compartilhamento de dados estão disponíveis em dispositivos móveis, fornecendo informações em tempo real. O progresso em TI tem possibilitado diversas implementações nas dimensões urbanas, resultando em transformações em todas as esferas envolvidas (RATHORE et al., 2016; REICHENHEIM, 2014).

Com o objetivo de alcançar um sistema urbano otimizado através da TI, o ambiente urbano tem acesso a dados por meio da crescente difusão de novas tecnologias, como a IoT, BD, redes 5G, Wi-Fi, IA, Sistemas de Informação (SI), entre outras. Essas tecnologias permitem o acompanhamento em tempo real de várias atividades urbanas e sociais, incluindo o gerenciamento inteligente das cidades. Além disso, as tecnologias auxiliam na geração de dados, que devem ser coletados, analisados e integrados para identificar informações críticas que possam ser utilizadas para melhorar a qualidade de vida urbana e os serviços oferecidos nos centros urbanos (GARCÍA-FUENTES et al., 2017).

As TI oferecem diversos elementos que possibilitam a melhoria da qualidade de vida das pessoas. Para garantir que esses benefícios alcancem o maior número possível de indivíduos, é fundamental direcionar essas ferramentas para as cidades. Através da TI, é possível aprofundar a compreensão dos costumes e experiências urbanas, por meio da coleta, armazenamento e análise de dados, gerando informações cruciais para a tomada de decisões e medidas de gerenciamento que possam enfrentar os diversos problemas encontrados no ambiente urbano (BACKHOUSE, 2020). Nesse contexto, surge o conceito de cidade inteligente, que será abordado no próximo tópico.

2.3. Cidades inteligentes

A pesquisa pioneira na construção do conceito de cidade inteligente foi realizada na década de 1990, abordando questões relacionadas à economia, globalização e reforma

tecnológica. Esse conceito surgiu em decorrência do advento da internet e das tecnologias de comunicação, que possibilitaram implementações voltadas para as cidades, dando origem ao termo "*smart cities*" ou cidades inteligentes (GIBSON; KOZMETSKY; SMILOR, 1992). Desde então, ao longo dos anos, a pesquisa em cidades inteligentes tem recebido cada vez mais atenção em todo o mundo, tornando-se objeto de discussões, propostas e implementações em diversas áreas de estudo e dimensões da sociedade. Pesquisadores acadêmicos, governos, organizações e a sociedade civil como um todo estão investigando os elementos fundamentais por trás das cidades inteligentes (CAMERO; ALBA, 2019).

Conforme apontado por Lin (2018), sua revisão da literatura revela que o conceito de cidade inteligente tem sido desenvolvido com maior interesse em três principais áreas: governamental, corporativa e acadêmica. Entre esses setores, é o governo que demonstra maior interesse nas questões de planejamento urbano, dada a necessidade de lidar com os desafios impostos pelo rápido processo de urbanização nos centros urbanos. O setor governamental busca soluções para administrar eficientemente essas dificuldades.

Ao citar a declaração da Expo Mundial de 2010 em Xangai, intitulada "cidade melhor - vida melhor", Marchetti et al (2019) ressalta a responsabilidade dos governos em proporcionar uma harmonia no ambiente de vida dos cidadãos. Essa declaração enfatiza a importância do papel dos governos na busca por melhorias nas condições de vida nas áreas urbanas. Como resultado, surgem diversas opções de intervenções possíveis, com o objetivo de melhorar o conforto nos ambientes urbanos. Essas intervenções incluem, mas não se limitam a: desenvolver inovações tecnológicas e científicas, promover um equilíbrio entre áreas urbanas e rurais, utilizar informações inteligentes e acessíveis e estabelecer comunidades confortáveis e habitáveis.

Neste contexto, conforme discutido por De Jong et al. (2015), a ampliação do conceito de cidades inteligentes resultou em diversas tentativas por parte das autoridades de classificá-las, utilizando termos como cidade ecológica, cidade sustentável, cidade digital, cidade inteligente, cidade da informação, cidade do conhecimento, cidade resiliente, entre outros. Os próprios autores conduziram revisões na literatura a fim de identificar os termos mais frequentemente utilizados no meio acadêmico em relação a essa temática.

Ainda segundo De Jong et al. (2015), o termo "cidade sustentável" é o mais frequente entre os estudos analisados em sua revisão. Esse conceito está associado a três pilares fundamentais: sustentabilidade econômica, social e ambiental, que são combinados com o uso de indicadores para medir cada um desses pilares. Além disso, há abordagens que atribuem maior ênfase e atenção ao setor ambiental no contexto das cidades sustentáveis.

Segundo Cocchia (2014), entre os termos relacionados às cidades inteligentes, os mais comumente encontrados na literatura são "cidade inteligente" e "cidade digital". No entanto, não são fornecidas indicações claras sobre suas principais diferenças ou semelhanças. No âmbito de sua RSL, a autora observa que o conceito de cidade digital pode ser considerado um subconjunto do conceito de cidade inteligente. Isso ocorre devido ao fato de que a maioria das abordagens recentes se concentra nas cidades inteligentes, e o conceito de cidade inteligente incorpora o conceito de cidade digital. Essa fusão dos conceitos resultou em um conceito mais abrangente e amplamente utilizado: cidades inteligentes.

Alguns autores têm expressado críticas em relação ao enfoque central no termo "cidade inteligente", argumentando que pode haver uma negligência em relação à contribuição efetiva para a dimensão sustentável e social. Esses críticos sugerem que a ênfase muitas vezes recai sobre questões tecnológicas e políticas voltadas para a rentabilidade econômica, em detrimento de considerações mais amplas de desenvolvimento sustentável e bem-estar social. Essas preocupações destacam a importância de adotar abordagens abrangentes e equilibradas ao planejar e implementar iniciativas de cidades inteligentes, levando em consideração os aspectos socioeconômicos e ambientais para garantir benefícios holísticos para a população e o meio ambiente (YIGITCANLAR et al., 2018, COLDING; BARTHEL, 2017; OLIVEIRA, 2020).

Da mesma forma, o termo "cidade sustentável" também enfrenta críticas, com argumentos de que sua definição não abrange os requisitos necessários para uma cidade altamente dinâmica e conectada, que envolve diferentes dimensões e uma sociedade que demanda métodos eficazes e digitais (DE JONG et al., 2015).

Nesse contexto, surge a terminologia "cidade inteligente e sustentável", que propõe um equilíbrio entre os conceitos de "inteligência", tecnologia e sustentabilidade, com o objetivo de aproveitar os benefícios das TI em conjunto com os pilares da sustentabilidade. Essa abordagem enfatiza a preocupação ambiental, garantindo que a implementação prática das técnicas que transformam as cidades em cidades inteligentes não resulte em degradação ou ultrapasse os limites ambientais (CHANG et al., 2018).

Essas críticas destacam a necessidade de um conceito mais abrangente e atualizado que leve em consideração a interseção entre sustentabilidade, inovação tecnológica e engajamento social. Nesse sentido, o conceito de cidade inteligente tem ganhado destaque, visto que engloba uma abordagem mais abrangente, que combina inovação tecnológica, eficiência urbana e qualidade de vida, além de promover a sustentabilidade em todas as suas dimensões. Diante do rápido crescimento de pesquisas científicas e implementações práticas relacionadas ao tema, observa-se que o termo "Cidade Inteligente" tem sido predominante no meio acadêmico. Esse

termo abrange pautas voltadas ao meio ambiente e ao bem-estar humano, utilizando inovação e tecnologia como meios para agregar valor e otimizar a qualidade de vida dos cidadãos. Além disso, tem sido amplamente aceito nos contextos organizacionais e governamentais durante a expansão contínua nos últimos anos. Essa preferência pelo termo cidade inteligente reflete o reconhecimento da importância de abordagens tecnológicas inovadoras na busca por soluções que promovam o desenvolvimento sustentável e melhoria das condições de vida nas cidades (MORA; BOLICI; DEAKIN, 2017; COCCHIA, 2014; DE JONG et al., 2015).

Segundo COSTA (2021), em sua análise das partes interessadas mais mencionadas em cidades inteligentes, realizada por meio de uma RSL, identificou-se que as principais partes interessadas são: sociedade civil, governo, indústria e academia, nessa ordem. O autor ressalta a importância da influência dos pesquisadores e do meio acadêmico no desenvolvimento e implementação das cidades inteligentes, destacando seu papel fundamental em fornecer clareza e equilíbrio na abordagem desse conceito. Isso é relevante para evitar abordagens que negligenciem pilares fundamentais que tornam uma cidade verdadeiramente inteligente, como atenção à sociedade, meio ambiente, economia, política, entre outros. A participação e contribuição dessas partes interessadas são essenciais para garantir a criação de soluções abrangentes e sustentáveis para o desenvolvimento urbano.

Na RSL realizada por Costa (2021), observa-se que os textos acadêmicos de diversas áreas de estudo e diferentes localizações destacam a sociedade civil como a principal parte interessada reconhecida nas cidades inteligentes. Isso ressalta a importância da preocupação social e do engajamento dos profissionais da ciência em seus estudos. A literatura e o envolvimento acadêmico desempenham um papel fundamental como orientadores, evitando abordagens que buscam apenas lucratividade, sem considerar os resultados reais que devem acompanhar a implementação dos conceitos relacionados às cidades inteligentes. Essa atuação contribui para a adoção de práticas responsáveis, que consideram os aspectos sociais, ambientais e econômicos envolvidos nesse processo.

Conforme destacado nos parágrafos anteriores, é evidente a preocupação em abordar todos os aspectos que compõem uma cidade, considerando a sua complexidade. Há debates constantes sobre a ênfase dada a certos elementos em detrimento de outros, o que ressalta a necessidade de equilíbrio e conexão entre todas as partes envolvidas. As cidades inteligentes devem proporcionar um desenvolvimento urbano equilibrado, promovendo a integração harmoniosa de diferentes dimensões e setores para garantir o bem-estar dos cidadãos e a sustentabilidade ambiental. De acordo com o estudo de Wahab et al. (2020), foram identificadas 11 dimensões principais que compõem esse conceito. Essas dimensões são: economia,

governança, pessoas, meio ambiente, infraestrutura, tecnologia, vida, mobilidade, água e resíduos, segurança e agricultura. A compreensão do conceito de cidade inteligente obtida por meio da pesquisa consiste em uma cidade que utiliza TI para gerenciar o capital humano e social, além de administrar de forma eficaz os recursos utilizados. Essa abordagem inclui um sistema de governança bem estruturado e infraestruturas que impulsionam o desenvolvimento econômico, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida dos habitantes e enfrentar os desafios urbanos atuais, como mudanças climáticas, escassez de recursos, aumento da poluição, congestionamentos de tráfego, desigualdade social, pobreza, entre outros.

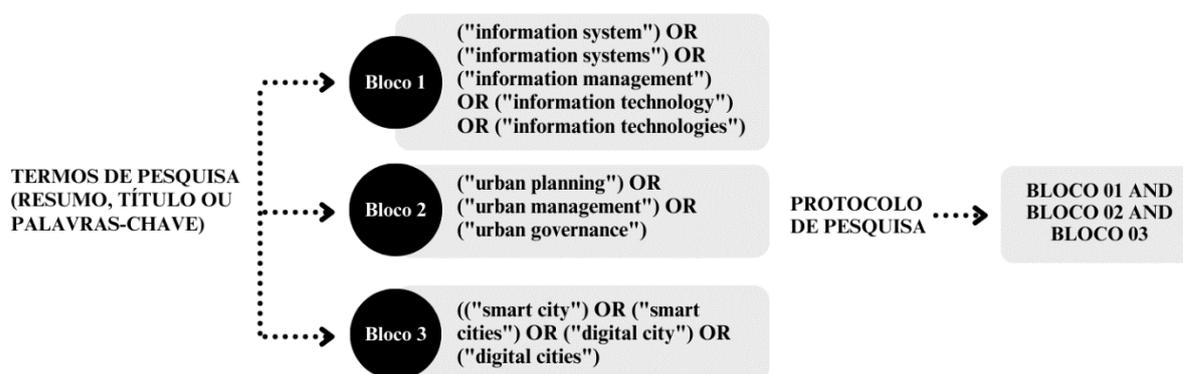
Nesse contexto, a Carta Brasileira para Cidades Inteligentes define as cidades inteligentes como municípios empenhados no desenvolvimento urbano sustentável e na transformação digital. Elas são caracterizadas por uma abordagem planejada, inovadora, inclusiva e em rede, que promove a inclusão digital, a governança eficiente e o uso estratégico das tecnologias para aprimorar a prestação de serviços, reduzir desigualdades e melhorar a qualidade de vida da população. A Carta ressalta ainda a importância da segurança e responsabilidade no uso de dados e tecnologias. O objetivo principal é orientar a criação de cidades mais conectadas, inteligentes e humanas, capazes de enfrentar de maneira eficaz os desafios e demandas da sociedade contemporânea (BRASIL, 2020).

A seguir, será apresentada uma RSL acerca do uso das TI combinadas às técnicas de gestão urbana para concepção de cidades inteligentes.

2.4. Revisão Sistemática da Literatura

A priori, foi realizada a delimitação das bases de dados a serem utilizadas para pesquisa dos estudos que farão parte da RSL. As bases selecionadas foram a *Web of Science* (WoS) e *Scopus*, consideradas fontes consolidadas e relevantes na literatura científica. As palavras-chave foram definidas de acordo com o objetivo de pesquisa, que envolve o uso de TI combinada às técnicas de gestão urbana para concepção de cidades inteligentes. Após a definição das palavras-chave, foi estabelecida uma estratégia de busca avançada nas duas bases de dados pré-determinadas, utilizando operadores booleanos para aperfeiçoar os resultados obtidos. Conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 – Operadores booleanos e protocolo de pesquisa

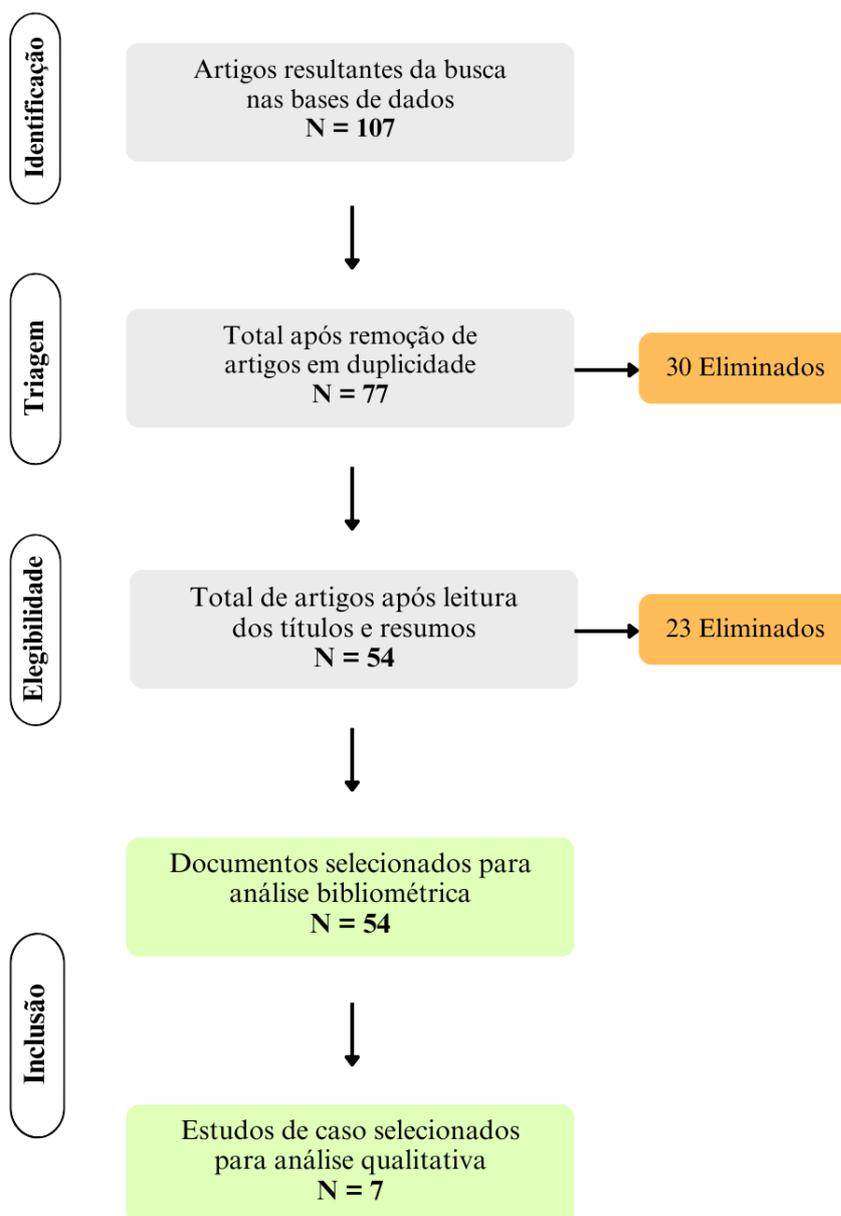


Fonte: O Autor (2023)

Os filtros aplicados durante a busca das pesquisas, corresponderam ao período de publicação, tipo de documento e linguagem. O período determinado foi a partir do ano de 2016, a fim de avaliar a literatura mais recente sobre o tema. Em relação ao tipo de documento e linguagem, foram considerados apenas artigos científicos publicados em inglês. As buscas foram realizadas no dia 4 de março de 2022, resultando em 36 artigos encontrados na base WoS e 71 na base *Scopus*.

Por fim, os resultados foram submetidos a um processo de seleção, no qual foram removidas duplicidades e realizada a leitura dos títulos e resumos. Essa etapa teve como objetivo avaliar o contexto, a coerência e a relevância dos estudos em relação ao objetivo da pesquisa. Após essa análise, 54 artigos foram selecionados para a análise bibliométrica. Em seguida, uma busca avançada adicional foi conduzida para identificar estudos de caso que abordassem implementação das tecnologias no contexto do planejamento urbano e sua contribuição prática para o desenvolvimento de cidades inteligentes. Esses artigos foram submetidos a uma avaliação qualitativa, conforme detalhado no próximo tópico. O procedimento é apresentado na figura 2. Durante essa busca final, foram priorizados estudos que apresentassem casos concretos de aplicação de tecnologias, destacando seus impactos, desafios e benefícios observados. Isso nos permitiu adquirir um conjunto valioso de informações qualitativas, que posteriormente foram analisadas e interpretadas para enriquecer nosso entendimento sobre o tema. Esses estudos de caso proporcionaram exemplos práticos de como as cidades estão realmente adotando a tecnologia para melhorar sua infraestrutura, serviços e qualidade de vida para os cidadãos.

Figura 2 – Fluxo para a pesquisa das publicações



Fonte: Moher et al. (2009); Mengist et al. (2020)

Nota: adaptado de Autor (2023)

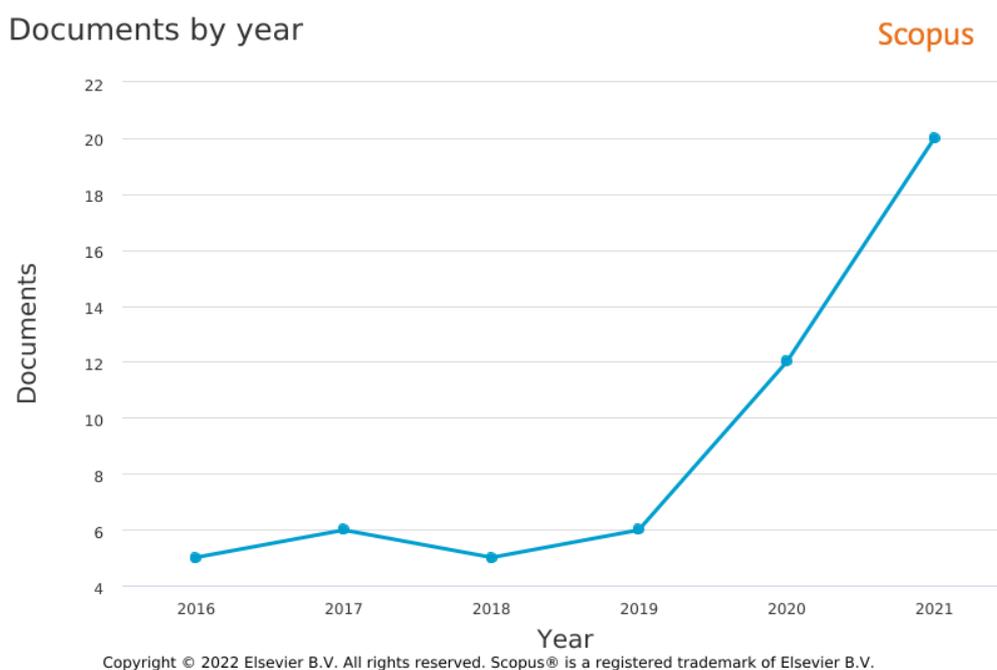
Vale salientar que todos os artigos incluídos estão na base *Scopus*, visto que esta base apresentou predominância na quantidade resultante, pois a maior parte dos estudos decorridos da Base WoS também constavam na *Scopus*, de forma que após a seleção dos estudos, todas as 54 pesquisas incorporadas na revisão encontram-se na base *Scopus*.

Ao analisar o conjunto de artigos, observamos que no período de 2016 a 2019 havia uma média anual de cerca de 6 artigos publicados sobre o tema. No entanto, a partir do ano de 2020, houve um aumento significativo na quantidade de publicações, indicando um maior

interesse dos pesquisadores pelo assunto, especialmente nos últimos dois anos. Esse aumento na produção científica sugere uma crescente atenção e relevância da temática das cidades inteligentes.

Além da busca restrita ao período de 2016 a 2022, foi realizada uma busca paralela sem delimitar períodos de publicação. Nessa busca, identificou-se que o primeiro documento relacionado ao tema das cidades inteligentes foi publicado em 1995. No entanto, até o ano de 2014, havia uma quantidade limitada de estudos explorando essa temática, com uma média de menos de duas publicações por ano. Isso é coerente com a natureza recente da área, que despertou interesse tanto no meio acadêmico quanto no setor público e privado. A tendência de aumento nas publicações a partir de 2020, conforme ilustrado no gráfico 1, sugere que esse crescimento deve se manter nos próximos anos.

Gráfico 1 – Documentos publicados por ano



Fonte: Base de dados Scopus (2022)

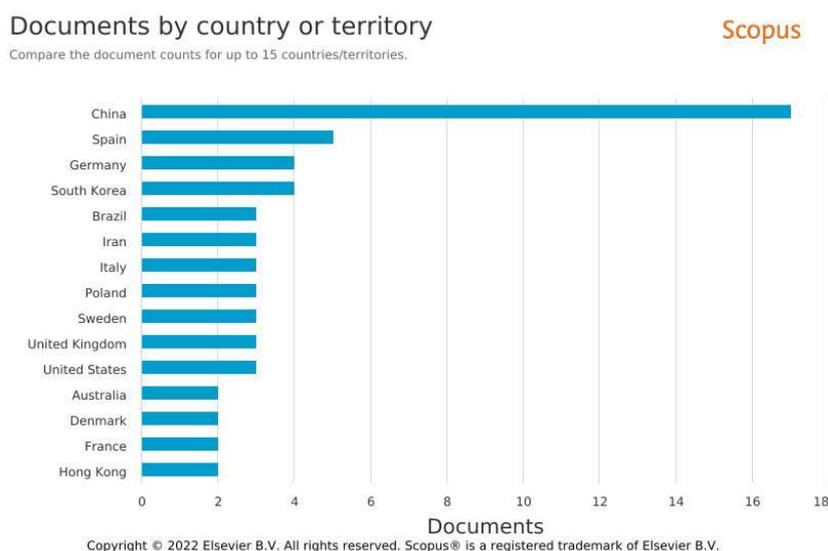
Apesar da tendência de alta identificada no gráfico, é importante ressaltar que a quantidade de documentos encontrados ainda é relativamente baixa quando comparada ao acervo total de estudos sobre cidades inteligentes. Essa constatação reforça a percepção do problema mencionado na introdução desta pesquisa, que se refere à carência de estudos que englobem a dimensão do planejamento urbano. Como destacado por Camero e Alba (2019), essa lacuna na literatura pode ser uma limitação para o desenvolvimento e implementação

efetiva de políticas e práticas relacionadas às cidades inteligentes.

Com relação à análise voltada para os autores responsáveis pelos estudos, é possível identificar que quatro pesquisadores publicaram mais de uma pesquisa sobre o tema, sendo eles, Babar, Jan, Kourtit e Nijkamp.

Na análise dos autores responsáveis pelos estudos, foi identificado que quatro pesquisadores, a saber, Babar, Jan, Kourtit e Nijkamp, publicaram mais de uma pesquisa sobre o tema das cidades inteligentes. Concernente aos países que mais publicaram trabalhos que abordam a temática em questão, no gráfico 2, é demonstrado a quantidade de publicações com seus respectivos países.

Gráfico 2 – Documentos por país



Fonte: Base de dados Scopus (2022)

Ao analisar o gráfico 2, é possível observar que a China se destaca com uma parcela significativa, representando aproximadamente 31,48% das pesquisas realizadas sobre o tema. A China lidera em termos de volume de publicações e contribuição para o campo de estudo. Em segundo lugar, temos a Espanha, com cerca de 12,96% das publicações, seguida pela Alemanha e Coreia do Sul, com quatro publicações cada. O Brasil ocupa o quinto lugar, seguido por outros seis países que também tiveram um total de três pesquisas publicadas. Essa análise evidencia uma lacuna no conteúdo que aborda o potencial completo do tema, uma vez que a quantidade de publicações por país é relativamente baixa em comparação com o grande volume de pesquisas publicadas sobre temas relacionados.

Quando considerado o número de citações recebidas, com base nos critérios de países,

observamos que os cinco países que receberam o maior número de citações em seus documentos são: Coreia do Sul (537 citações), Espanha (179 citações), Paquistão (85 citações), China (84 citações) e Itália (73 citações). Esses países se destacam em termos de impacto e reconhecimento de suas pesquisas, conforme evidenciado pelas citações recebidas em seus trabalhos.

É interessante observar que três dos países que mais publicaram sobre o tema também se destacam entre os mais citados (China, Coreia do Sul e Espanha). Especificamente, a Coreia do Sul, além de estar entre os países mais citados, recebeu uma quantidade significativamente maior de citações. Isso se deve, em grande parte, a um artigo específico de autoria de Rathore et al. (2016) intitulado "*Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics*", que recebeu aproximadamente 481 citações. Neste artigo, é proposto um sistema combinado e baseado em IoT, com várias camadas, para o desenvolvimento de cidades inteligentes e gestão urbana, utilizando análise de BD. O impacto e a relevância desse artigo são evidentes, considerando o número expressivo de citações recebidas.

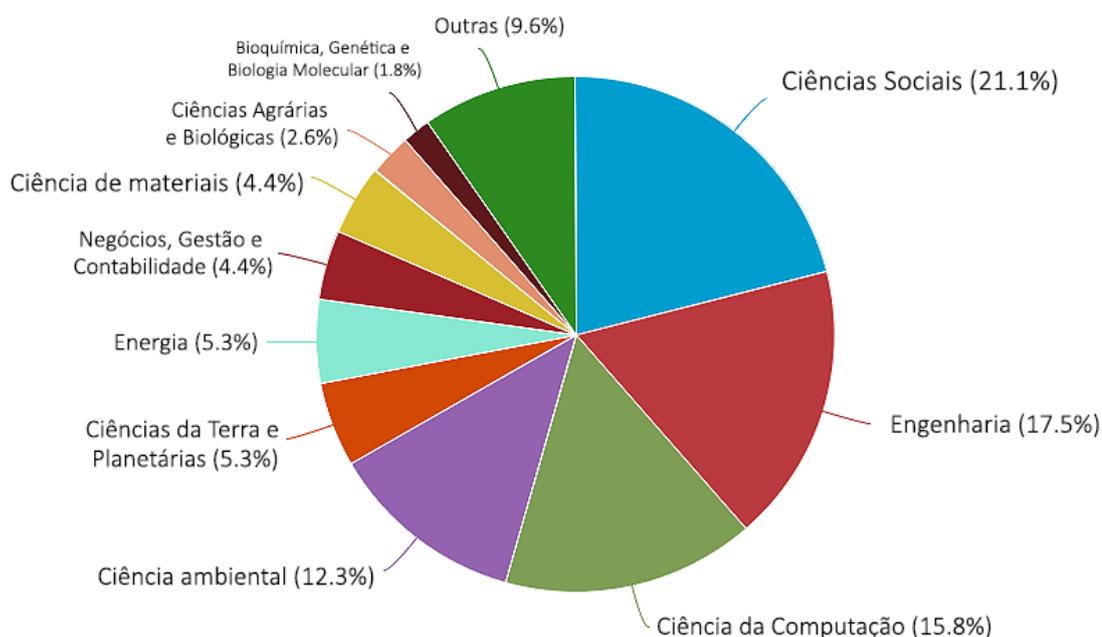
Além disso, a Espanha figura como o segundo país mais citado, em grande parte devido a um artigo específico publicado por Belanche, Casaló e Orús (2016), que recebeu em volta de 110 citações. A pesquisa analisa como os níveis de apego à cidade por parte dos moradores e outros determinantes pessoais e sociais contribuem para o uso de serviços urbanos, contemplando também alguns levantamentos inovadores para avançar no desenvolvimento de cidades inteligentes, sugerindo aplicações voltadas para gestão de serviços urbanos orientados ao cidadão com a finalidade de atingir padrões de vida mais elevados. No gráfico 3 é demonstrado a quantidade de documentos encontrados por área de estudo.

Através da análise do gráfico 3, é possível observar a relação percentual entre a quantidade de documentos publicados e suas respectivas áreas de estudo, fornecendo insights sobre as principais áreas que contribuíram com pesquisas relacionadas a TI, gestão urbana e cidades inteligentes. Os resultados revelam que as quatro principais áreas que se destacaram em termos de volume de publicações são: Ciências Sociais (21,1%), Engenharia (17,5%), Ciência da Computação (15,8%) e Ciência Ambiental (12,3%). Essas áreas de conhecimento desempenharam um papel significativo na produção acadêmica sobre o tema, abrangendo diferentes perspectivas e contribuindo para a compreensão holística e multidisciplinar das cidades inteligentes.

Gráfico 3 – Documentos por área de estudo

Documents by subject area

Scopus



Copyright © 2022 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

Fonte: Base de dados Scopus (2022)

2.4.1. Análise dos estudos de casos

Neste tópico, serão analisados sete artigos científicos selecionados da RSL apresentada na seção anterior (que abordam o uso de TI para ações de planejamento urbano dentro do contexto de cidades inteligentes). Esses artigos foram identificados como estudos de casos entre a amostra e são apresentados no quadro 1. A análise detalhada desses artigos permitirá uma compreensão mais aprofundada das práticas e resultados alcançados em diferentes contextos de estudo.

Quadro 1 – Artigos encontrados como estudos de casos para análise qualitativa

Objetivo do estudo	Autoria	Ferramentas utilizadas	Ano
Avaliação da experiência egípcia de cidades inteligentes, destacando os potenciais e capturando pontos fortes e preocupações que podem ser eliminadas para criar uma aplicação bem sucedida e promissora. Dessa forma, pode ser aplicado em cenários semelhantes.	Ali, M. A.	IoT, Sistemas de informação integrado, gestão de processos.	2021

Criação de um modelo prático que sugira a forma que as cidades inteligentes podem ser usadas como uma ferramenta para projetar ambientes urbanos modernos, a fim de obter o desenvolvimento sustentável e áreas com habitabilidade e qualidade de vida, lidando com os desafios globais.	Doost e Rezaie.	IoT, Internet dos Negócios (IoB), Internet da Energia (IoE), Internet da Manufatura (IoM).	2020
Avaliar e otimizar a infraestrutura urbana com o consumo de energia, água e outros recursos como alimentos ou bens. Avaliação do consumo atual de energia elétrica do setor alimentício. Como também, investigando o transporte <i>last mine</i> e o potencial energético dos resíduos gerados pelos moradores e empresas.	Eicker et al.	IoT, Apps, BD, GIS, <i>Softwares</i> de simulação de energia urbana, Sensores, Tecnologias Web 3D.	2020
Abordagem baseada em um sistema de informação geográfica (SIG) para o desenvolvimento urbano sustentável, utilizando ferramentas como Avaliação Multicritério (MCE) para determinar o nível de Desenvolvimento Orientado a Trânsito (TOD).	Khare et al.	SIG, MCE, TOD.	2021
Desenvolvimento de estrutura analítica para avaliação do encolhimento funcional, que visa capturar a incompatibilidade espacial entre áreas urbanas construídas e as áreas com intensas atividades humanas, apelidado como a área de encolhimento funcional.	Ma et al.	BD Geoespacial, GIS.	2020
Busca-se reduzir a lacuna entre os dados urbanos disponíveis e os dados específicos necessários para executar uma simulação completa de energia em edifícios urbanos. Como resultado, é desenvolvido um <i>Building Dashboard</i> . Painel que permite a visualização interativa e a exploração de dados do estoque de construção em várias escalas.	Monteiro et al.	BD, SI, GIS, Programação.	2018
Analisar a relação entre compartilhamento de bicicletas, transporte público e outros modelos de transporte, obtendo insights interessantes para o planejamento urbano, em nível de cidade e bairro. Demonstra que o ciclismo em geral pode fornecer uma modalidade de transporte flexível e ecologicamente correta para viagens mais curtas.	Pase et al.	Teoria dos grafos e Análise de dados estatísticos do sistema de compartilhamento de bicicletas.	2020

Fonte: O Autor (2022)

Essa investigação qualitativa visa identificar na literatura recente, o uso da TI aplicada ao planejamento urbano na concepção de cidades inteligentes, visto que a tecnologia é uma das principais ferramentas para criar, desenvolver e aplicar estratégias, soluções e técnicas, como mobilidade inteligente, engenharia, sustentabilidade, entre outras (DOOST; REZAIE, 2020).

Através desta investigação qualitativa, será possível analisar e sintetizar as abordagens, metodologias e resultados dos estudos recentes que exploram essa temática, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada do papel da TI no planejamento urbano para concepção de cidades inteligentes.

É evidente que os artigos selecionados são recentes e em quantidade limitada. Esses estudos destacam a relevância da TI na concepção de cidades inteligentes, fazendo uso de componentes importantes, IoT, Sistemas de Informações (SI), BD e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Além disso, são empregados diferentes métodos que visam potencializar os benefícios da aplicação dessas ferramentas tecnológicas.

Em três dos artigos selecionados (DOOST; REZAIE, 2020; EICKER et al., 2020; ALI, 2021), pode-se identificar uma proposta ou aplicação da IoT. No estudo de Ali (2021), que avalia o caso egípcio de uma cidade que adota diferentes serviços inteligentes baseados em TI, a IoT é utilizada juntamente com SI para implementar componentes inteligentes no planejamento urbano, como infraestrutura inteligente, mobilidade e governança. Além da IoT e SI, o estudo também aborda a gestão de processos na tomada de decisões por meio do gerenciamento das redes integradas à infraestrutura do projeto.

Doost e Rezaie (2020), ao propor um novo modelo de projeção de áreas urbanas sustentáveis e modernas para enfrentar os desafios globais e alcançar o desenvolvimento sustentável, adotam a IoT como parte integrante de várias camadas. Essas camadas incluem setores como negócios e manufatura, incorporando o conceito e a relevância dos conteúdos relacionados à indústria 4.0 e à sociedade 5.0 no projeto em questão. A IoT é utilizada como um dos elementos-chave para a construção de áreas urbanas mais eficientes e sustentáveis, permitindo a integração e a interconexão de diversos sistemas e dispositivos para otimização dos processos e serviços urbanos.

O emprego da IoT, em conjunto com outras ferramentas como BD e GIS, ainda é visto para fins de otimização da infraestrutura urbana, especialmente no que se refere ao consumo de energia, água e outros recursos. Dessa forma, permitindo a quantificação da energia e das emissões de CO₂ nos diversos setores urbanos. Além disso, os *softwares* de tecnologias web 3D são integrados a essas ferramentas de TI, possibilitando a publicação e distribuição de observações 3D, combinadas com análises visuais. Esses recursos são considerados elementos essenciais para uma plataforma de planejamento urbano eficiente.

O GIS desempenha um papel significativo em quatro dos sete estudos analisados, evidenciando sua capacidade de reproduzir, processar, armazenar e analisar informações geográficas relevantes. Essa ferramenta apresenta uma contribuição considerável para as

implementações de TI em cidades inteligentes, com foco no planejamento urbano. Ao permitir a visualização e a análise de dados geográficos, o GIS oferece suporte essencial para o desenvolvimento de soluções inteligentes e sustentáveis nas áreas urbanas.

Os estudos que empregam o GIS direcionam-se a tópicos específicos do planejamento urbano, abordando questões como desenvolvimento orientado ao trânsito, análise de padrões em áreas urbanas e energia urbana, além da coleta e integração de diversos dados. Ao combinar o GIS com outras ferramentas, especialmente BD devido ao grande volume de informações envolvido, esses estudos obtêm resultados variados. Um exemplo é o desenvolvimento de modelos de simulação que permitem a avaliação de diferentes cenários, fornecendo suporte às decisões de planejamento urbano.

É perceptível que, das quatro pesquisas que utilizaram o GIS, três delas também empregaram o conceito de BD para alcançar seus objetivos. Essa abordagem é motivada pelo fato de que os dados gerados pelas cidades estão crescendo exponencialmente a cada ano, o que traz complexidade e demanda a adoção de tecnologias inteligentes capazes de coletar esses dados em grande volume com rapidez e eficiência. A integração do GIS com o BD desempenha um papel fundamental nos avanços das cidades inteligentes, conforme evidenciado pelas colaborações encontradas nos artigos analisados. Essa abordagem permite o gerenciamento e a análise efetiva dos dados urbanos, contribuindo para a tomada de decisões informadas no contexto do planejamento urbano.

As observações destacam a utilização de abordagens que combinam a TI com outras metodologias para atingir os objetivos e promover a transformação das cidades em inteligentes. Embora a TI forneça ferramentas fundamentais, é importante reconhecer que as cidades inteligentes requerem não apenas soluções tecnológicas, mas também a adoção de outros métodos, políticas e procedimentos. A abordagem multidisciplinar é essencial para abordar os desafios complexos enfrentados pelas cidades e garantir o desenvolvimento de soluções integradas que impulsionem a inteligência urbana de forma abrangente e sustentável. Dessa forma, a combinação estratégica de TI com outras metodologias e abordagens é fundamental para o sucesso das iniciativas de cidades inteligentes.

Nessa visão, é interessante o que expõe Khare et al. (2021), pois utiliza uma abordagem baseada em GIS para apoiar o planejamento urbano. Os autores aplicam conceitos de avaliação multicritério para determinar o nível de desenvolvimento orientado ao trânsito (TOD) com base nos critérios selecionados na pesquisa. Essa abordagem permite classificar as estações analisadas em pontuações e níveis de TOD, fornecendo informações valiosas para os tomadores de decisão no planejamento urbano. Essa contribuição é fundamental para ajudar os

planejadores urbanos a tomar decisões mais informadas e alcançar um planejamento eficaz, considerando aspectos importantes como mobilidade, acessibilidade e integração de transporte nas áreas urbanas.

A análise qualitativa dos trabalhos ressalta a importância dos dados para a obtenção de resultados significativos. Os dados desempenham um papel fundamental em todas as etapas, desde a coleta até o tratamento e a análise. A diversidade das fontes de dados é essencial para alimentar os processos inteligentes, mas os pesquisadores enfrentam desafios nesse sentido. É válido destacar a singularidade dos dados e a necessidade de investir em sistemas de dados abertos, que utilizam as tecnologias mencionadas, para armazenar e disponibilizar os dados de forma rápida e confiável. Isso contribui para fortalecer e promover o progresso das cidades inteligentes, permitindo que os dados sejam utilizados de maneira eficaz no desenvolvimento de soluções inteligentes.

2.5. Modelos de avaliação

Como mencionado anteriormente, o número de estudos sobre cidades inteligentes tem aumentado nos últimos anos, impulsionado pelo avanço da inovação e pela aplicação da TI no planejamento urbano. No entanto, Backhouse (2020) ressalta que, à medida que esse campo evolui, torna-se cada vez mais desafiador encontrar e desenvolver métodos de avaliação do desempenho dessas cidades. Afinal, para que as cidades se tornem inteligentes, é crucial compreender o que as define e como medir seu desempenho, a fim de embasar a tomada de decisão por parte dos formuladores de políticas e dos envolvidos nas cidades. Segundo o autor, atualmente, existem várias abordagens para realizar essa avaliação, tais como:

a) através de indicadores criados por normas internacionais, nacionais ou regionais: por meio da utilização de indicadores desenvolvidos, como por exemplo os indicadores da ISO voltados para cidades inteligentes, uma análise é realizada com os dados de uma cidade para avaliação de acordo com os padrões formulados pelos indicadores (MELO; DANTAS; CAMARGO, 2020; MIDOR; PŁAZA, 2020);

b) modelos de maturidade: para avaliação de cidades inteligentes fazem uso de indicadores de forma a determinar estágios de evolução, do menor patamar ao nível ótimo (AFONSO et al., 2015; DIRKS et al., 2009);

c) modelos de clusterização: abordagem que utiliza métodos de agrupamento para identificar semelhanças e diferentes comportamentos entre as divisões (GARCÍA-FUENTES et al. 2017; LIN, 2018);

d) modelos descritivos: o modelo descritivo busca referenciar as cidades através da

atribuição de valor a determinadas dimensões (BACKHOUSE, 2020);

e) índices compostos: a partir da avaliação e medição de diversas atividades de um município, o método procura aplicar um valor único ao estado de uma cidade (DUARTE et al., 2014; NEVADO PEÑA; ALFARO NAVARRO; LÓPEZ RUIZ, 2017).

Na busca por meios eficazes de avaliação das cidades inteligentes, diversas organizações internacionais têm se destacado, como a International Organization for Standardization (ISO). A ISO desenvolveu a norma ISO 37120, que aborda indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida no contexto do desenvolvimento sustentável das comunidades. Essa norma se tornou uma referência e, para atender ao conceito de cidades inteligentes, foi complementada pela norma ISO 37122, que apresenta indicadores específicos para avaliação de cidades inteligentes. A norma ISO 37122 permite a medição e avaliação do desempenho de diferentes áreas de um município, possibilitando comparações e fornecendo insights sobre a situação dos setores em uma cidade inteligente. No entanto, é importante ressaltar que essa norma foi desenvolvida com um contexto internacional, o que pode apresentar diferenças em relação ao Brasil, devido à sua vasta extensão territorial e peculiaridades regionais, econômicas, políticas e sociais (AFONSO et al. 2015).

A avaliação realizada por indicadores busca a priori a medição dos diversos aspectos individuais de um município. Esses indicadores representam uma ferramenta valiosa para pesquisadores, planejadores urbanos e formuladores de políticas, uma vez que estabelecem uma base comum para a avaliação de medidas comparáveis. Dessa forma, eles auxiliam as cidades na tomada de decisões estratégicas, fornecendo informações essenciais sobre as medidas ideais a serem adotadas e orientando a coleta adequada de dados (BACKHOUSE, 2020).

Conforme destacado por Kubina, Šulyová e Vodák (2021), é fundamental reconhecer que cada cidade no mundo possui características distintas, o que requer uma análise cuidadosa da individualidade de cada uma delas. Além disso, é importante compreender a interdependência entre as diversas variáveis que compõem uma cidade. O contexto em que uma cidade está inserida desempenha um papel crucial na moldagem de seus aspectos culturais, sociais, econômicos, comportamentais e dinâmicos. Portanto, ao desenvolver um método de avaliação para cidades inteligentes, é essencial levar em consideração as particularidades e contextos regionais de cada região.

Segundo Backhouse (2020), entre os diversos métodos de avaliação propostos na literatura para cidades inteligentes, destaca-se o modelo de cluster, que permite uma análise mais aprofundada do desempenho de cada cidade. Esse modelo é especialmente útil para formuladores de políticas e pesquisadores, pois ajuda a compreender como as características de

diferentes municípios e regiões impactam sua performance. Ao agrupar cidades com características semelhantes, é possível identificar padrões, tendências e melhores práticas que podem orientar a formulação de políticas e estratégias específicas para cada cluster. Dessa forma, o modelo de cluster oferece uma abordagem analítica valiosa para a compreensão e melhoria do desempenho das cidades inteligentes.

A pesquisa de García-Fuentes et al. (2017) aborda dois tipos comuns de análises de clusterização, os métodos hierárquicos e particionais, com o intuito de comparar os resultados obtidos. Ao avaliar ambos os métodos, a pesquisa conclui que o modelo particional oferece tipologias de cidades mais confiáveis e se apresenta como uma abordagem mais robusta quando comparada ao método não hierárquico. Essa análise se mostra relevante para entender a eficácia das abordagens de clusterização utilizadas na classificação de cidades. A seguir, o método empregado neste estudo é contextualizado.

2.6. Clusterização *k-means*

Embora haja vários tipos de algoritmos de clusterização, os métodos mais comuns são os hierárquicos e os particionais. No método hierárquico, os dados são classificados em uma estrutura hierárquica com base na proximidade entre os objetos. Já no método particional, a base de dados é dividida em k -grupos por meio da realocação iterativa de pontos e dados entre os clusters. O valor de k é determinado pelo usuário (CASSIANO, 2014).

O método estatístico *k-means* é considerado uma técnica de aprendizado de máquinas não supervisionada (*machine learning*) e pertence à categoria dos métodos de clusterização particionais. É amplamente utilizado e o mais popular na análise exploratória e mineração de dados, oferecendo resultados de fácil interpretação. Além disso, essa técnica possui uma grande vantagem, pois ao agrupar dados similares, torna-se possível descrever de forma mais eficiente e eficaz as características peculiares de cada um dos grupos identificados. Segundo MacQueen (1967), um dos criadores desse método, a clusterização é uma abordagem de pesquisa para obter informações qualitativas e quantitativas a partir de grandes conjuntos de dados multivariados. Com o avanço do poder computacional, surgiram conjuntos de dados cada vez maiores, e o *k-means* se manteve popular devido à sua implementação fácil, eficiência computacional e baixo consumo de memória, em comparação com outras técnicas de agrupamento (MORISSETTE; CHARTIER, 2013; CASSIANO, 2014).

O *k-means* opera da seguinte maneira: inicialmente, são escolhidos k protótipos como centros dos k clusters. Em seguida, os objetos são atribuídos aos clusters com base na proximidade com o centro mais próximo, utilizando medidas de distância, sendo a métrica

euclidiana a mais comumente empregada. Os centros são então movidos para a média dos objetos do cluster correspondente, também conhecida como centroide ou centro de gravidade. Esse processo é iterado até que ocorra a convergência, recalculando os centroides em cada iteração. Um método similar ao *k-means* é o *k-medoids*, que difere no cálculo do centro de cada cluster. Em vez de usar a média dos objetos, um objeto é selecionado como representante por ser o mais próximo do centroide (CASSIANO, 2014).

Conforme mencionado por Kassambara (2017), o processo de aplicação do método *k-means* envolve várias etapas. Primeiramente, é necessário definir o número de clusters desejados. Em seguida, são escolhidos aleatoriamente objetos como valores centrais iniciais para cada cluster. Os registros são então atribuídos aos clusters com base na distância euclidiana em relação aos seus centroides. Em seguida, são realizados novos cálculos e é determinada uma nova média dos valores dentro de cada cluster. O objetivo é minimizar a soma dos quadrados intra-cluster, ou seja, reduzir a variação dos objetos dentro de cada grupo. Esse processo é repetido até que ocorra a confluência e os clusters se estabilizem.

A análise de cluster utilizando o método *k-means* é amplamente reconhecida como uma técnica essencial para aprimorar o gerenciamento, filtragem, mineração e resumo de grandes volumes de dados de maneira inteligente. Os resultados obtidos por meio desse método são úteis para investigar as principais características dos objetos analisados e também desempenham um papel importante no processo decisório. Ao agrupar os dados em clusters, o *k-means* fornece insights valiosos sobre as relações e padrões existentes nos dados, permitindo uma compreensão mais aprofundada e informada do conjunto de dados em questão. Essa análise é crucial para a tomada de decisões embasadas e a identificação de informações relevantes para o contexto em análise (BOCK, 2007; CASSIANO, 2014; DHALMAHAPATRA et al., 2019; MORISSETTE; CHARTIER, 2013).

3. METODOLOGIA

A metodologia é a investigação e o conhecimento da organização, tratando da importância e utilidade do caminho selecionado para alcançar o resultado esperado pela pesquisa (FONSECA, 2012). Neste capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para atingir os objetivos propostos, incluindo as caracterizações do estudo, as etapas realizadas e a fonte de dados utilizada.

3.1. Caracterização do estudo

Quanto à natureza da presente pesquisa, ela pode ser classificada como aplicada, pois propõe resultados que podem ser utilizados para aplicações práticas e soluções de problemas reais. Isso é evidenciado pela classificação das cidades brasileiras por meio da clusterização dos dados, bem como pela apresentação de um panorama dos clusters por eixo temático e das iniciativas relacionadas à TI em algumas cidades de cada cluster (TURRIONI; MELLO; 2012).

Em relação à abordagem desta pesquisa, ela pode ser classificada como combinada, pois utiliza um método qualitativo e quantitativo. Isso significa que a análise engloba tanto dados qualitativos quanto dados quantitativos. No que diz respeito aos objetivos, este estudo adotou uma abordagem exploratória e descritiva. A abordagem exploratória foi utilizada com o propósito de mapear e compreender o estado atual do conhecimento sobre as ferramentas de TI para cidades inteligentes no contexto do planejamento urbano. Por meio dessa abordagem, buscou-se identificar e explorar os principais conceitos, teorias e práticas relacionadas ao tema. Por outro lado, a abordagem descritiva foi empregada com o intuito de descrever, analisar e categorizar as cidades com base nas características observadas na análise de cluster e na identificação das iniciativas voltadas para TI realizadas por algumas cidades de cada cluster. Gil (2008), destaca que a pesquisa descritiva tem como objetivo descrever detalhadamente um determinado fenômeno, analisando suas características, causas e comparando-o com outros fatos relevantes. Nesse sentido, o pesquisador atua como um observador imparcial, coletando e interpretando os dados minuciosamente, sem interferir no contexto em análise. Portanto, este estudo adotou uma abordagem exploratória para obter um panorama amplo do conhecimento existente sobre as ferramentas de TI para cidades inteligentes, seguida por uma abordagem descritiva para descrever e analisar as características das cidades com base nos dados coletados (GIL, 2008).

Esta pesquisa se caracteriza, em seu procedimento técnico, como sendo bibliográfica e

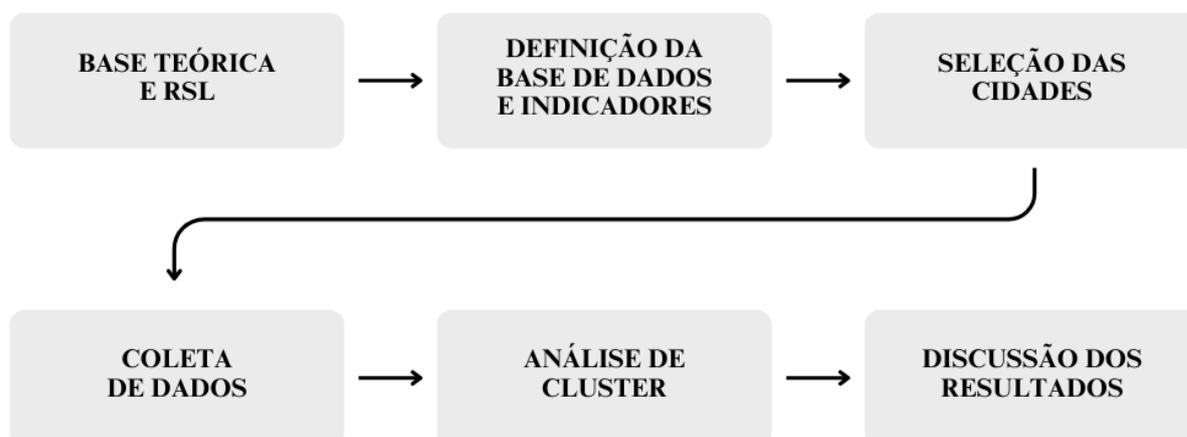
documental. A abordagem bibliográfica envolve a análise de diversos estudos, artigos e publicações relacionados ao tema das ferramentas de TI para cidades inteligentes no contexto do planejamento urbano, utilizando fontes bibliográficas como base para o fundamento teórico da pesquisa. Através dessa análise crítica da literatura existente, busca-se compreender e contextualizar o conhecimento já produzido sobre o tema. Por outro lado, a pesquisa documental baseia-se na coleta de informações disponíveis em documentos online, como sites e portais, que fornecem dados sobre indicadores e iniciativas em TI das cidades selecionadas. Essa abordagem permite acessar fontes documentais, como relatórios, planos e registros, que contêm informações relevantes para o estudo (GIL, 2002).

De acordo com Gil (2002), a pesquisa bibliográfica utiliza materiais previamente desenvolvidos, como livros e artigos científicos, para obter uma cobertura mais ampla e abrangente dos aspectos relacionados ao tema de estudo. A pesquisa documental, por sua vez, difere apenas no caráter das fontes utilizadas, uma vez que estas não receberam um tratamento analítico direto, mas são exploradas como fontes de informações para enriquecer o contexto da pesquisa.

3.2. Síntese dos estágios da pesquisa

As nove etapas que foram realizadas para a concretização da pesquisa são apresentadas na figura 3. Essas etapas foram planejadas e seguidas para estruturar e guiar a pesquisa, permitindo que outros pesquisadores possam replicar a metodologia em trabalhos futuros. A descrição dessas etapas é apresentada a seguir.

Figura 3 – Fluxo de etapas da pesquisa



Fonte: O Autor (2023)

No primeiro estágio da pesquisa, foi desenvolvida a base teórica, que abordou as principais temáticas relacionadas ao estudo, com o objetivo de compreender e contextualizar o conhecimento existente. Além disso, foi realizada uma RSL, com o intuito de reunir e analisar os artigos científicos relevantes sobre o uso da TI em conjunto com as técnicas de planejamento urbano para a concepção de cidades inteligentes.

Para o levantamento dos artigos que compuseram essa etapa, foram utilizadas as bases de dados da WoS e *Scopus*, acessadas por meio do domínio da UFPE. Essa abordagem permitiu um maior acesso aos bancos de dados, facilitando a coleta dos artigos necessários para a construção da base teórica e da revisão sistemática.

A segunda etapa da pesquisa consiste na definição da fonte de dados a ser analisada neste trabalho. Para essa finalidade, foi selecionada uma instituição que reúne todos os elementos essenciais para o desenvolvimento do estudo de maneira organizada e detalhada, além de gozar de credibilidade entre os agentes públicos, privados e acadêmicos. Considerando o objetivo do trabalho, que envolve o contexto brasileiro, foi estabelecido o critério de que a organização escolhida levasse em consideração a realidade do país na disponibilização e construção dos dados.

Dessa forma, optou-se pela utilização da base de dados do *Ranking Connected Smart Cities* (RCSC). No próximo capítulo, essa escolha será apresentada em maior detalhe, juntamente com os eixos temáticos e indicadores utilizados, proporcionando uma melhor compreensão da seleção realizada.

Em seguida, foi necessário delimitar a área de estudo. A seleção da amostra de cidades para pesquisa foi baseada em dois critérios. Primeiramente, considerou-se o tamanho da população como um critério pré-definido, uma vez que os desafios enfrentados pelo planejamento urbano são influenciados por esse fator. Além disso, o segundo critério levou em consideração a disponibilidade de dados, priorizando cidades que possuem uma quantidade maior de informações em comparação às demais. Os detalhes sobre o fator utilizado para atender a essas duas vertentes serão apresentados no próximo capítulo, que abordará a análise e os resultados da pesquisa.

Sucessivamente, foi realizado o levantamento de dados relacionados ao desempenho de cada cidade em relação aos eixos temáticos e indicadores por meio de uma plataforma online disponibilizada pela base de dados mencionada anteriormente. Após a coleta dos dados, foi necessário realizar o tratamento dessas informações. Os dados foram organizados em formato *.xlsx* (*Microsoft Excel*), seguindo o padrão necessário para serem utilizados como entrada para leitura e processamento virtual por meio do *software RStudio*.

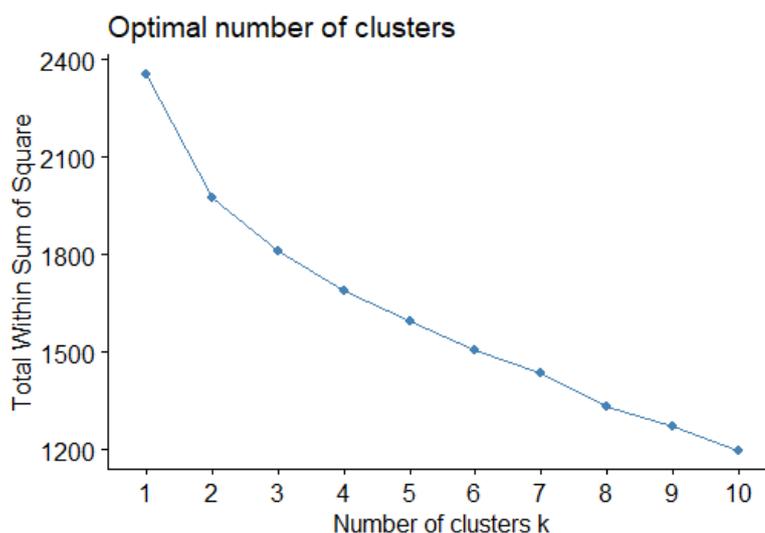
A análise de cluster está relacionada à modelagem dos dados. Conforme discutido anteriormente na base teórica, existem diversos modelos de análise de cidades inteligentes na literatura. Neste estudo, foi escolhido o modelo de clusterização, que é um método de agrupamento não-hierárquico e não-supervisionado. Pois, ao agrupar cidades com características semelhantes sem um decisor pré-estabelecido, é possível obter uma compreensão mais abrangente e sistêmica das cidades.

Dentre as diversas abordagens existentes para a clusterização, optou-se pela utilização do algoritmo *k-means*. Trata-se de uma técnica estatística inserida no campo do aprendizado de máquina, sendo amplamente empregada devido à sua versatilidade e eficiência comprovada (MORISSETTE; CHARTIER, 2013).

O código deste estudo foi escrito em linguagem R e implementado através do *software RStudio*, devido a vasta quantidade de bibliotecas disponíveis que facilitam a dinâmica dos cálculos. Entre os comandos utilizados, dois merecem destaque. Primeiramente, a função `"kmeans(x, 3)"` foi empregada para realizar o cálculo dos clusters, sendo que "x" representa a base de dados a ser analisada e o valor de `"k=3"` indica o número desejado de clusters. O segundo comando relevante é a função `"fviz_nbclust()"`, utilizada antes da função `"kmeans()"` que permite analisar e determinar a quantidade ideal de clusters `"k=3"`, utilizando o método estatístico "Elbow". Embora esse método seja aproximado, ele é amplamente utilizado e se baseia na soma dos quadrados intra-cluster para avaliar como a adição de mais clusters afeta os resultados (RUBIO, et al., 2018; ARAÚJO & YAGINUMA, 2021). No gráfico 4, é exibido o gráfico resultante da aplicação da função `(fviz_nbclust())` conforme o código implementado. Esse gráfico é utilizado para auxiliar na determinação da quantidade ótima de clusters, sendo uma ferramenta visual que mostra como a adição de clusters influencia o resultado. Através dessa análise gráfica, é possível identificar o ponto de inflexão que indica a quantidade adequada de clusters a serem utilizados na clusterização dos dados.

Com base na análise realizada, verificou-se que a utilização de mais de três clusters não acrescentaria valor significativo à análise. O número ideal de clusters foi determinado observando o ponto em que a curva começa a se estabilizar ou apresentar uma diminuição em sua inclinação. Isso ocorre porque a adição de clusters acima de três não traria benefícios significativos para aumentar a diferenciação entre os grupos, ou seja, não melhoraria a qualidade da clusterização. Por outro lado, a utilização de apenas um ou dois clusters poderia limitar a interpretação dos resultados. Portanto, considerando esses aspectos, foi definido o valor ótimo de *k* como igual a 3.

Gráfico 4 – Análise do número ótimo de clusters



Fonte: RStudio (2022)

Portanto, a análise de cluster utilizando o método *k-means* representa uma abordagem quantitativa de análise de dados, que tem como objetivo identificar padrões e agrupar cidades com características semelhantes com base nos indicadores selecionados.

A última etapa deste estudo consiste na análise e discussão dos resultados encontrados, com o objetivo de compreender o dinamismo das cidades brasileiras em relação ao conceito de cidade inteligente. Nessa fase, são considerados quatro aspectos auxiliares que contribuem para a compreensão abrangente dos resultados.

O primeiro aspecto é o regime de influência, que analisa como a distribuição demográfica das cidades está relacionada à divisão em clusters. Isso permite identificar possíveis padrões e relações entre o tamanho e comportamento da população e as características dos clusters.

Em seguida, os clusters são explorados sob a perspectiva de cada eixo temático, o que permite uma análise mais aprofundada das características e desempenho de cada cluster em relação aos eixos temáticos e indicadores.

O terceiro aspecto consiste na caracterização dos clusters, ou seja, na descrição das principais características e peculiaridades de cada grupo. Isso auxilia na compreensão das diferenças e semelhanças entre os clusters, contribuindo para uma análise mais completa dos resultados.

Por fim, são investigadas as principais iniciativas relacionadas à TI por parte de algumas cidades representantes de cada cluster. Isso permite verificar quais são as ações e projetos

desenvolvidos por essas cidades no âmbito da cidade inteligente, fornecendo insights sobre as estratégias adotadas, bem como possíveis relações com o desempenho dos clusters.

A análise e discussão desses aspectos proporcionam uma compreensão sistêmica dos resultados obtidos, permitindo uma visão ampla e aprofundada do contexto das cidades brasileiras em relação as cidades inteligentes. Essa análise será detalhada no próximo capítulo, contribuindo para a conclusão do estudo.

4. ANÁLISE E RESULTADOS

4.1. Análise dos dados

Com base nos critérios estabelecidos na metodologia deste estudo, foi selecionada a edição de 2020 do RCSC, desenvolvido anualmente pela empresa brasileira *Urban Systems* Brasil como fonte de dados. Essa escolha foi feita considerando que o RCSC atende aos requisitos de dados necessários para este trabalho, uma vez que os dados estão adaptados à realidade do Brasil, evitando vieses e distorções que possam afetar a precisão das informações. Além disso, o RCSC leva em consideração as publicações mais relevantes, tanto nacionais quanto internacionais, sobre temas relacionados a cidades inteligentes, conectadas, sustentáveis e outros tópicos correlatos. Isso inclui referências a padrões como a ISO 37120 e a ISO 37122. Através desse mapeamento, são analisados os indicadores utilizados, as bases de dados e as definições, avaliando sua aplicabilidade e viabilidade para o contexto do território brasileiro (URBAN SYSTEMS, 2020).

O procedimento realizado pela base de dados do RCSC envolve um extenso período de tempo, que inclui uma coleta de dados minuciosa, visando obter informações significativas. Esse processo permite a identificação da relevância de cada indicador, sua aplicabilidade para os municípios brasileiros e sua representatividade na avaliação. Um exemplo que ilustra a atenção dada pelo RCSC às peculiaridades do Brasil são dois indicadores presentes na edição de 2020, no eixo temático Meio Ambiente: tratamento de esgoto e atendimento urbano de esgoto. Esses indicadores, embora já não sejam mais relevantes em muitos países, mantêm sua importância no contexto brasileiro. Isso demonstra o cuidado da base de dados em considerar as particularidades do país e incluir indicadores que refletem as necessidades e desafios específicos enfrentados pelas cidades brasileiras.

Além das pesquisas realizadas anualmente, o RCSC possui um acervo disponibilizado pela *Urban Systems*, que inclui um laboratório responsável por pesquisa e desenvolvimento inovador. Esse laboratório produz metodologias e conteúdos relacionados aos principais temas das cidades. Ele desempenha um papel fundamental na geração de conhecimento e na criação de abordagens inovadoras para a compreensão e o aprimoramento das cidades (URBAN SYSTEMS, 2020).

Outra importante característica do RCSC é o seu foco na conectividade, ou seja, na análise das interações entre diferentes setores. A empresa tem desenvolvido esse projeto desde 2014 em parceria com diversos agentes da sociedade, realizando reuniões e assembleias com

representantes municipais, acadêmicos e especialistas de vários setores. Essas colaborações têm como objetivo discutir e manter a seleção e o processo de triagem dos indicadores sempre atualizados e relevantes. O acervo do RCSC abrange o levantamento de dados de todos os municípios brasileiros com mais de 50 mil habitantes, totalizando 673 cidades.

O RCSC organiza a análise em 11 grupos denominados “eixos temáticos”, que são: Mobilidade e Acessibilidade, Urbanismo, Meio Ambiente, Energia, Tecnologia e Inovação, Saúde, Segurança, Educação, Empreendedorismo, Governança e Economia. Cada eixo temático engloba um conjunto de indicadores relacionados ao tema em questão. No entanto, é importante ressaltar que, devido à falta de dados para a maioria das cidades analisadas, oito indicadores não foram utilizados nos cálculos realizados neste trabalho, sendo eles: outros modais de transporte coletivo, ciclovias, destinos aeroviários, paralisação do abastecimento, produção de energia em usinas de energia eólica, produção de energia em usinas de UFV, polos tecnológicos e incubadoras. A lista dos eixos temáticos e seus respectivos indicadores utilizados neste estudo é apresentada no quadro 2, fornecendo uma visão geral dos aspectos considerados na análise das cidades.

Quadro 2 - Eixos temáticos e seus respectivos indicadores

EIXO TEMÁTICO	INDICADOR
MOBILIDADE E ACESSIBILIDADE	Automóveis por habitante Idade média da frota veículos (Ônibus)/(automóveis) Conexões Interestaduais Porcentagem de veículos matriculados na cidade que são de baixa emissão
URBANISMO	Lei zoneamento ou uso e ocupação do solo Lei operação urbana consorciada Plano Diretor Estratégico Municipal Consulta prévia (obtenção de alvará provisório) Despesas pagas com urbanismo Porcentagem da população da cidade que vive em densidades populacionais médias a altas
MEIO AMBIENTE	Atendimento urbano de água Perdas na distribuição Atendimento urbano de esgoto Tratamento de Esgoto Recuperação de materiais recicláveis Cobertura do serviço de coleta de resíduos Monitoramento de Área de Risco

	Porcentagem da quantidade total de resíduos plásticos recuperados na cidade
ENERGIA	Tarifa Média Produção de Energia em Usinas de Biomassa
TECNOLOGIA & INOVAÇÃO	Conexões de Banda Larga com + de 34mb Municípios com Backhaul de Fibra Ótica Cobertura 4G (operadoras) Trabalhadores com ensino superior Número de ligações à Internet por 100 000 habitantes Patentes Bolsa CNPQ
SÁUDE	Leitos / 1000 habitantes Médicos por 100 mil habitantes Cobertura populacional da Equipe de Saúde da Família Despesas pagas com Saúde Óbitos / mil nascidos vivos (local de residência)
SEGURANÇA	Homicídios Mortes em Trânsito Despesas pagas com Segurança Policiais, Guardas-civis Municipais e Agentes de Trânsito
EDUCAÇÃO	Vagas em Universidade Pública Média Enem Docentes (Ensino Médio Público) com ensino superior IDEB (anos finais do ensino público) Taxa de Abandono (ens. Médio público) Média de Alunos por turma (público 9º ano) Despesas pagas com Educação Média de Horas-aula diária (público 9º ano) Número de computadores, laptops, tablets ou outros dispositivos digitais de aprendizagem disponíveis por 1 000 alunos
EMPREENDEDORISMO	Crescimento Empresas de Tecnologia Crescimento Empresas Economia Criativa Crescimento MEI
GOVERNANÇA	Escolaridade do Prefeito IFDM EBT Conselhos
ECONOMIA	Crescimento PIB per capta Renda Média Empregos Formais Crescimento Empresas Crescimento Empregos Independência setor Público Empregabilidade (Empregos / PEA)

Receita Total não oriunda de Transferência
Percentual da força de trabalho ocupada em ocupações no
setor de tecnologia da informação e comunicação (TIC)
Percentual da força de trabalho ocupada em ocupações
nos setores de educação e pesquisa e desenvolvimento

Fonte: Urban Systems (2020)

Nota: adaptado de Autor (2021)

De fato, o conjunto de eixos e indicadores do RCSC está interconectado, o que significa que as melhorias ou pioras em um indicador podem ter impactos não apenas no eixo temático ao qual ele pertence, mas também em outros eixos. Isso ocorre devido às inter-relações e interdependências existentes entre os diversos aspectos que compõem uma cidade inteligente. Tomando como exemplo os indicadores de Educação, seu desempenho não se limita apenas ao eixo temático da Educação. Esses indicadores podem ter influência em outros eixos, como Economia e Empreendedorismo. Por exemplo, um bom desempenho educacional pode resultar em uma mão de obra mais qualificada e preparada para o mercado de trabalho, o que pode impulsionar o desenvolvimento econômico e o empreendedorismo na cidade. Essa interconexão entre os eixos e indicadores ressalta a importância de uma abordagem holística e integrada no estudo das cidades inteligentes, considerando os impactos e sinergias entre os diversos aspectos analisados. Dessa forma, é possível compreender de forma mais completa o dinamismo e as relações entre os diferentes elementos que compõem uma cidade inteligente.

É válido ressaltar que os eixos temáticos e indicadores abordados nesta pesquisa estão todos direcionados para avaliar o desempenho das cidades no contexto de cidades inteligentes. Portanto, é necessário ter cautela ao inferir que uma cidade é superior a outras de forma geral com base nessas avaliações, uma vez que os indicadores são específicos para o contexto das cidades inteligentes. Ademais, embora o Ranking classifique os municípios com base na perspectiva de cidades inteligentes, não há uma contradição com a metodologia deste estudo, uma vez que o Ranking busca estabelecer uma ordenação das cidades, variando de "mais inteligentes" a "menos inteligentes". Por outro lado, o presente estudo tem como objetivo compreender o comportamento dessas localidades e identificar padrões e similaridades entre elas. Assim, pode-se afirmar que ambas as abordagens atuam de maneira complementar.

Uma vez definida a base de dados e indicadores utilizados, buscou-se delimitar as cidades a serem avaliadas por meio dos critérios estabelecidos. Além disso, uma metodologia adicional foi incluída para analisar o regime de influência exercido por essas cidades. A discussão desses aspectos será apresentada a seguir.

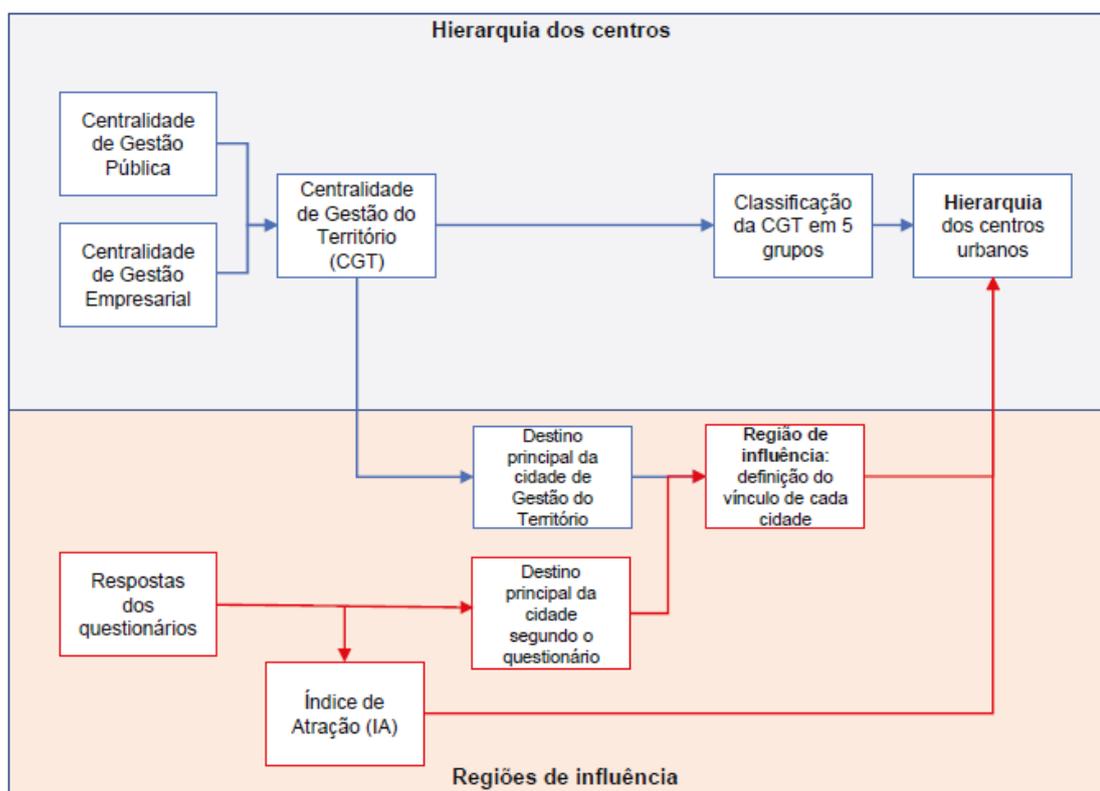
A fim de classificar o regime de influência das cidades, foi adotada a metodologia complementar utilizando a edição de 2018 da Regiões de Influência das Cidades (REGIC). Esse estudo, conduzido pelo IBGE, estabelece classes hierárquicas para os centros urbanos do Brasil e delimita regiões de influência interligadas a esses centros. A utilização dessa metodologia permitiu a análise do papel e da influência de cada cidade dentro de sua região.

A mensuração dos níveis de influência é estabelecida com base na disponibilidade de bens e serviços oferecidos pelos centros urbanos. Dessa forma, é possível compreender as relações existentes entre eles por meio da análise dos fluxos de serviços, recursos, estruturas de gestão no setor público e privado, mercadorias e deslocamento de pessoas em busca desses benefícios (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020). A REGIC utiliza essa abordagem para classificar os centros urbanos em cinco níveis hierárquicos principais: Metrôpoles, Capitais Regionais, Centros Sub-Regionais, Centros de Zona e Centros Locais, em ordem decrescente de influência. As Metrôpoles, por exemplo, representam o nível hierárquico mais elevado, enquanto os Centros Locais possuem menor grau de influência.

Nas seções seguintes, será possível observar que as cidades selecionadas estão classificadas nos níveis de Metrópole e Capital Regional. O nível de Metrópole engloba centros urbanos com uma ampla rede de influência que abrange todo o país, e é subdividido em três categorias: Grande Metrópole Nacional, Metrópole Nacional e Metrópole, em ordem decrescente de influência. Por outro lado, o termo Capital Regional refere-se a centros urbanos que possuem um alto grau de gestão, porém com um poder de influência menor em comparação com a categoria de Metrópole. A classificação de Capital Regional também é subdividida em três categorias: Capital Regional A, Capital Regional B e Capital Regional C, em ordem decrescente de influência (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020).

As etapas envolvidas na definição das regiões de influência e hierarquia dos centros urbanos na pesquisa REGIC 2018 são ilustradas na Figura 4.

Figura 4 - Etapas da definição das regiões de influência e da hierarquia dos centros urbanos

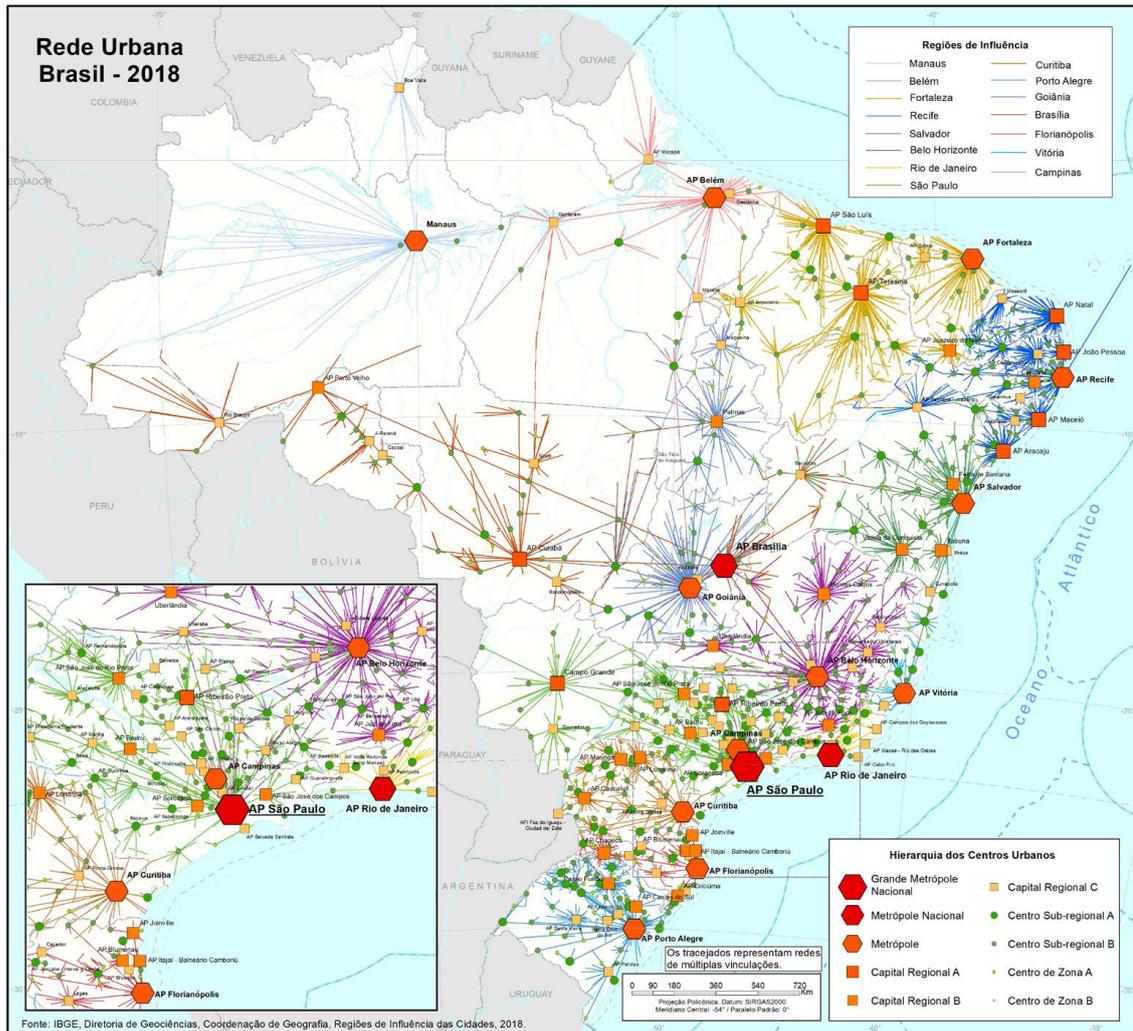


Fonte: IBGE, 2020

A definição das regiões de influência e hierarquia entre os centros urbanos é estabelecida por meio de uma metodologia que considera dois aspectos principais: a atração exercida entre cidades próximas e as conexões de longa distância estabelecidas por instituições públicas e privadas presentes nos centros urbanos. Para cada um desses aspectos, a REGIC emprega métodos específicos com o objetivo de integrar informações e formar a rede urbana brasileira. Dessa forma, foram identificadas as cidades que funcionam como centros de gestão do território e de conexões entre esses centros, permitindo a definição dos primeiros níveis na hierarquia urbana e a identificação das ligações entre as cidades de maior porte ou de níveis hierárquicos mais elevados. Além disso, para analisar as relações de proximidade entre as cidades, foi aplicado um questionário pelos pesquisadores do IBGE na maioria das cidades brasileiras (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020).

A Figura 5, conforme apresentada pelo IBGE (2020), retrata a região do Brasil sob a perspectiva da hierarquia dos centros urbanos. Os tracejados entre as cidades representam as diversas redes de conexões estabelecidas entre elas.

Figura 5 - Rede urbana na perspectiva de influência hierárquica



Fonte: IBGE, 2020

O conceito e a tipologia fornecidos pela pesquisa REGIC, que classifica as cidades de acordo com seus níveis de relacionamento, serão utilizados como instrumento para análise dos resultados na próxima seção. Para obter mais detalhes sobre a pesquisa REGIC, é recomendado consultar a referência do IBGE de 2020 e 2022.

Os critérios para escolha das cidades analisado na discussão estão relacionados à demografia e disponibilidade de dados. Dito isto, pretende-se que o conjunto de cidades selecionadas e utilizadas no estudo retratem o cenário dos municípios mais relevantes do ponto de vista populacional e que, conseqüentemente, enfrentam os maiores desafios de planejamento urbano. Dessa forma, também é possível comparar cidades do mesmo porte e utilizar o desempenho de algumas cidades como referência. Portanto, para atender tais pré-requisitos, as cidades escolhidas para compor a amostra da pesquisa foram delimitadas com base no critério

de possuir uma população acima de 500.000 habitantes. A figura 6 apresenta as cidades selecionadas.

Figura 6 - Cidades selecionadas para a amostra



Fonte: O Autor (2022)

Inicialmente, um total de 48 cidades foram consideradas como candidatas para compor a amostra, sendo selecionadas com base no critério de ter uma população superior a 500.000 habitantes. No entanto, nove dessas cidades foram excluídas devido à falta de dados adequados para os indicadores relevantes do estudo, sendo elas: Londrina, Caxias do Sul, Contagem, Jaboatão dos Guararapes, Porto Velho, Nova Iguaçu, Aparecida de Goiânia, Belford Roxo e Macapá. Portanto, um total de 39 cidades foi designado para compor a amostra, abrangendo todas as cinco regiões do Brasil.

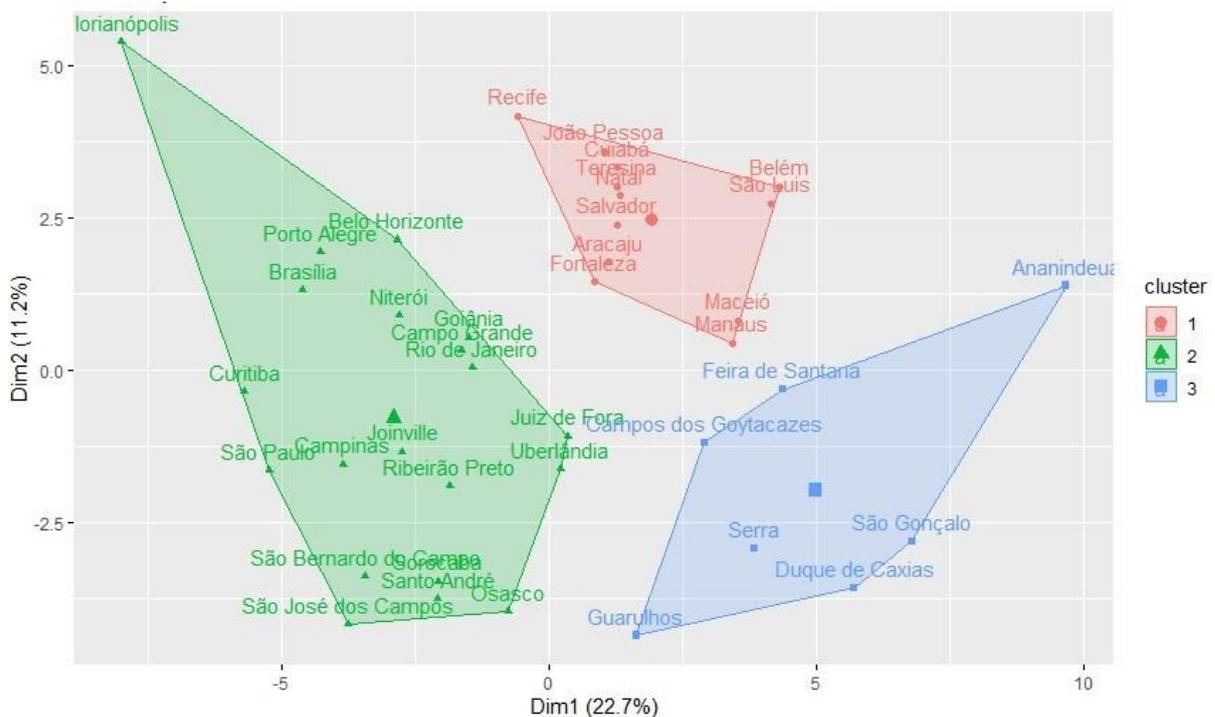
4.2. Análise de cluster das cidades brasileiras

A definição dos clusters foi realizada levando em consideração os 11 eixos temáticos do RCSC. Esses eixos temáticos abrangem áreas como Mobilidade e Acessibilidade,

Urbanismo, Meio Ambiente, Energia, Tecnologia e Inovação, Saúde, Segurança, Educação, Empreendedorismo, Governança e Economia. Cada eixo temático possui seus respectivos indicadores, totalizando 70 indicadores no total, que foram listados no quadro 2 da seção anterior. A base de dados utilizada no *software RStudio* foi organizada em uma planilha que contém informações do desempenho das 39 cidades associadas aos seus respectivos indicadores. Esses dados de desempenho foram obtidos a partir da base de dados disponibilizada pelo RCSC (2020), proporcionando uma ampla gama de informações sobre as cidades analisadas. Os códigos utilizados no *software* estão dispostos no apêndice A.

Como resultado da análise de cluster realizada utilizando o *software RStudio*, foi gerado o gráfico representado no gráfico 5.

Gráfico 5 – Plotagem dos clusters encontrados



Fonte: RStudio (2022)

Esse gráfico apresenta a plotagem dos clusters formados e suas respectivas cidades. Através da visualização gráfica, é possível identificar a distribuição das cidades nos diferentes clusters, o que permite uma compreensão visual dos agrupamentos e padrões existentes entre elas. Essa representação gráfica auxilia na interpretação e análise dos resultados, possibilitando uma melhor compreensão das relações e similaridades entre as cidades no contexto dos eixos temáticos considerados. A quadro 3 apresenta a listagem dos três clusters obtidos na análise de

cluster, bem como as cidades associadas a cada um deles. Essa tabela permite uma visualização mais detalhada das cidades que foram agrupadas em cada cluster, fornecendo informações sobre a distribuição das cidades e facilitando a identificação das características comuns entre elas.

Quadro 3 – Listagem dos clusters obtidos

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Recife	São Paulo	Guarulhos
Salvador	Florianópolis	Campos dos Goytacazes
Fortaleza	Curitiba	Feira de Santana
Teresina	Campinas	Serra
Manaus	Brasília	Duque de Caxias
Natal	Porto Alegre	São Gonçalo
João Pessoa	Belo Horizonte	Ananindeua
Cuiabá	Niterói	
Aracaju	Rio de Janeiro	
Belém	Campo Grande	
São Luís	São José dos Campos	
Maceió	Joinville	
	São Bernardo do Campo	
	Sorocaba	
	Ribeirão Preto	
	Santo André	
	Juiz de Fora	
	Goiânia	
	Osasco	
	Uberlândia	

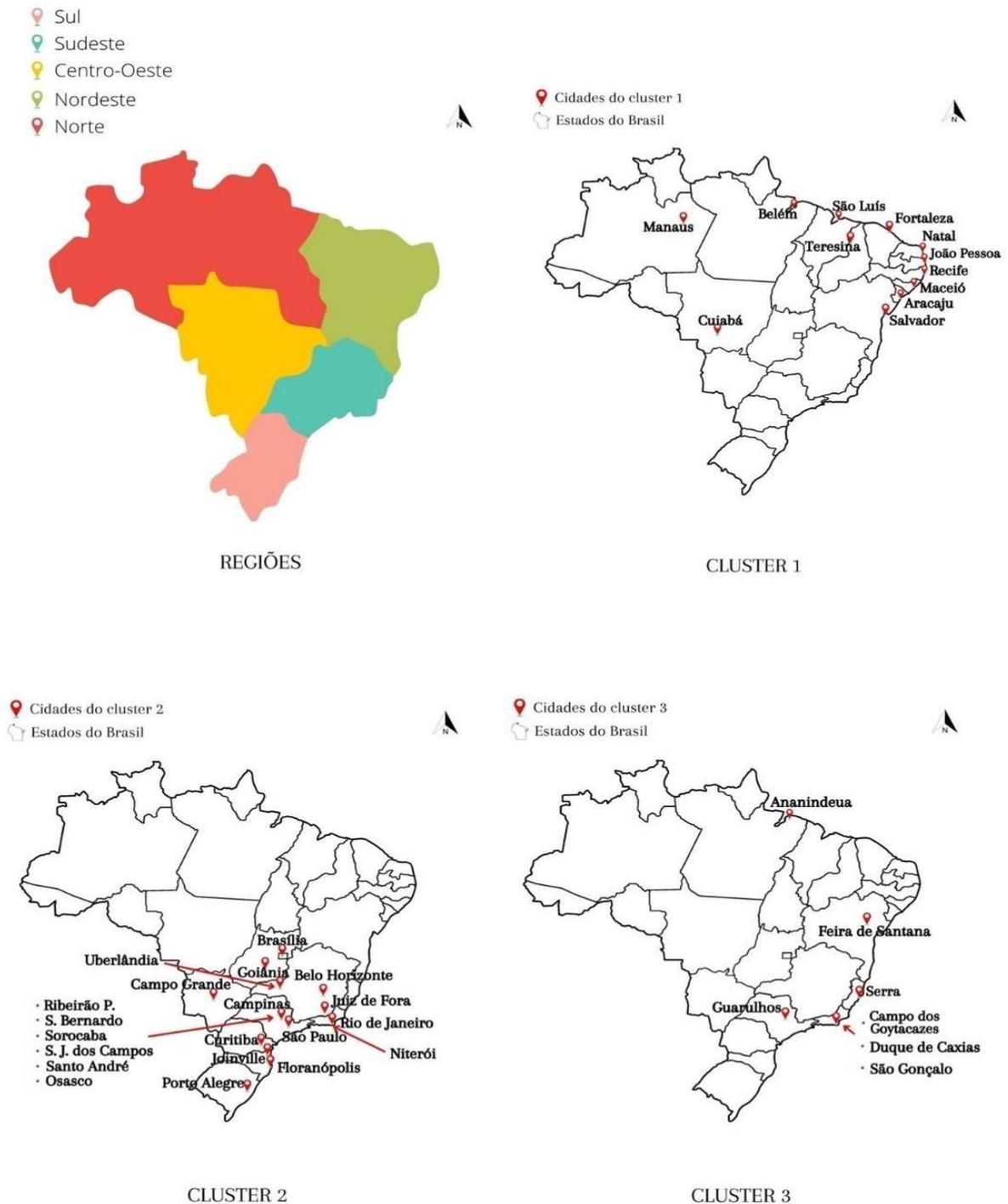
Fonte: O Autor (2022)

O algoritmo *k-means* atribui cada cidade a um cluster, de modo que as cidades dentro de um mesmo cluster sejam mais semelhantes entre si em termos dos indicadores analisados. Isso permite a identificação de padrões e características comuns entre as cidades a respeito de seu desenvolvimento como cidades inteligentes. Através dessa listagem, é possível observar quais cidades estão agrupadas juntas e verificar se existem padrões geográficos ou temáticos específicos entre os clusters formados.

A Figura 7 apresenta a disposição geográfica das cidades que compõem cada cluster, permitindo uma visualização espacial dos agrupamentos obtidos na análise de cluster. Essa representação no mapa auxilia na identificação de possíveis padrões de comportamento associados às regiões geográficas do Brasil. Por meio dessa representação, é possível observar se as cidades de um mesmo cluster estão próximas geograficamente ou se estão distribuídas de

forma dispersa pelo território nacional. Essa análise espacial contribui para a compreensão dos agrupamentos, podendo fornecer insights adicionais sobre as relações entre as características das cidades e sua localização geográfica.

Figura 7 – Disposição geográfica das cidades



Fonte: O Autor (2022)

Através da Figura 7, é possível identificar uma relação entre os clusters identificados e as regiões geográficas do Brasil. O Cluster 1, composto por 12 municípios, é predominantemente formado por cidades localizadas nas regiões Norte e Nordeste, com a exceção de Cuiabá, que está localizada na região Centro-Oeste. Por outro lado, o Cluster 2, composto por 20 cidades, é composto principalmente por cidades das regiões Sul e Sudeste, com três municípios do Centro-Oeste também incluídos. Essa relação demonstra diferenças entre as cidades das regiões Norte e Nordeste em comparação com as cidades das regiões Sul e Sudeste, com base nos indicadores utilizados na análise. No entanto, o Cluster 3 não apresenta uma relação direta com as regiões geográficas do Brasil, o que indica que outros atributos devem ser considerados para entender os fatores comuns desse agrupamento. Por exemplo, não há nenhuma capital de estado nesse cluster, o que pode indicar um conjunto de cidades de menor relevância ou extensão em comparação com as demais.

4.2.1. Análise do regime de influência das cidades pela REGIC

A classificação nas hierarquias da REGIC permite entender a posição das cidades em termos de influência regional e pode fornecer insights sobre o desenvolvimento socioeconômico, a infraestrutura e a conectividade das cidades em relação a seus entornos. Essa análise ajuda a compreender melhor o papel das cidades dentro de suas respectivas regiões e pode contribuir para o planejamento regional e a tomada de decisões estratégicas em políticas públicas. Para identificar possíveis padrões relacionados ao regime de influência entre as localidades, proposto pela pesquisa do IBGE mencionada anteriormente, a tabela 1 classifica a disposição das cidades de cada cluster em relação aos níveis hierárquicos da REGIC.

Tabela 1 – Número de cidades por Cluster relacionados aos níveis hierárquicos da REGIC

NÍVEL HIERÁRQUICO	Nº DE CIDADES		
	CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3
GRANDE METRÓPOLE NACIONAL		1	
METRÓPOLE NACIONAL		2	
METRÓPOLE	5	6	
CAPITAL REGIONAL - A	7	2	
CAPITAL REGIONAL - B		5	1
CAPITAL REGIONAL - C			

Fonte: O Autor (2022)

Embora a REGIC aborde o regime de influência das cidades sem considerar especificamente conceitos e indicadores relacionados a cidades inteligentes, sua utilização proporciona uma complementação de informações valiosa ao cruzar os dados da pesquisa REGIC com os resultados da análise de clusters. Isso contribui para a identificação das características presentes nos clusters identificados, enriquecendo a compreensão do contexto das cidades.

É possível notar que a soma das cidades presentes na tabela 1 não corresponde ao total de cidades dos clusters. Isso ocorre porque a pesquisa do IBGE analisa o comportamento dos centros urbanos associando algumas cidades a outros municípios mais influentes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022). Portanto, o número menor de cidades na tabela se deve ao agrupamento de algumas cidades em arranjos populacionais mais amplos. Por exemplo, a cidade de Guarulhos, por estar localizada nas proximidades, é considerada parte do arranjo populacional da cidade de São Paulo, devido ao seu grande poder de influência na região, e por isso, não recebe nenhuma classificação pela REGIC.

Após uma análise preliminar da tabela 1, que classifica as cidades de acordo com os conceitos da REGIC, observa-se que o cluster 1 apresenta características de cidades com níveis de influência intermediários. A maioria dos municípios do cluster 1 pertence à categoria de "capital regional - A", caracterizada por uma alta concentração de atividades de gestão, porém com um alcance menor em termos de influência se comparado às metrópoles. De acordo com a pesquisa do IBGE, as capitais regionais geralmente correspondem às capitais estaduais das regiões Nordeste e Centro-Oeste. Essas cidades apresentam um contingente populacional semelhante entre si, com uma variação de habitantes entre 800 mil e 1,4 milhão em 2018 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020).

O Cluster 2, embora apresente certa dispersão das cidades em diferentes categorias, é composto em sua maioria por cidades situadas nos mais altos níveis hierárquicos, correspondentes às metrópoles. De acordo com a REGIC, as metrópoles exercem influência direta sobre todas as cidades do Brasil, podendo receber influência de várias metrópoles simultaneamente ou, no mínimo, de uma metrópole, abrangendo uma ampla extensão territorial. É observado que as principais cidades do Brasil, que possuem maior influência e ocupam os níveis hierárquicos mais elevados, estão agrupadas no Cluster 2. Um exemplo é a cidade de São Paulo, que faz parte desse cluster. Segundo a pesquisa do IBGE, São Paulo é caracterizada como a única grande metrópole nacional, ocupando a posição de maior hierarquia urbana no país e possuindo o maior arranjo populacional. Além disso, as cidades de Brasília/DF e Rio de Janeiro/RJ também são classificadas como metrópoles nacionais, integrando o Cluster 2.

No que se refere ao Cluster 3, a maioria dos municípios que o compõem não possui representação em um nível hierárquico específico de acordo com a REGIC. Isso ocorre porque são cidades que foram integradas a outros arranjos populacionais. Essa situação indica uma possível característica de dependência dessas cidades, pois elas são centros urbanos localizados nas proximidades das principais cidades e sofrem influência delas. Um exemplo mencionado anteriormente é Guarulhos, que está anexada à cidade de São Paulo. Essas cidades tendem a ter um papel de dependência em relação às principais cidades, recebendo sua influência em termos econômicos, culturais e sociais.

4.3. Análise dos clusters por eixo temático

Com o objetivo de aprofundar a compreensão dos resultados, os próximos tópicos serão dedicados à discussão de cada eixo temático e seus indicadores sob a perspectiva dos clusters. Ao analisar os clusters em relação a cada eixo temático, examinamos como as cidades dentro de cada cluster se comportam em relação a aspectos específicos, como infraestrutura, governança, sustentabilidade, inovação, entre outros temas abordados na pesquisa. Para essa análise, utilizamos os resultados obtidos pelo método *k-means*, que se baseia no cálculo de centroides. Por meio da representação gráfica, ilustramos o comportamento dos centroides obtidos na análise após a normalização dos mesmos. Essa representação gráfica permite visualizar e comparar o desempenho relativo de cada cluster em relação a cada eixo temático, fornecendo insights sobre as características predominantes em cada grupo de cidades.

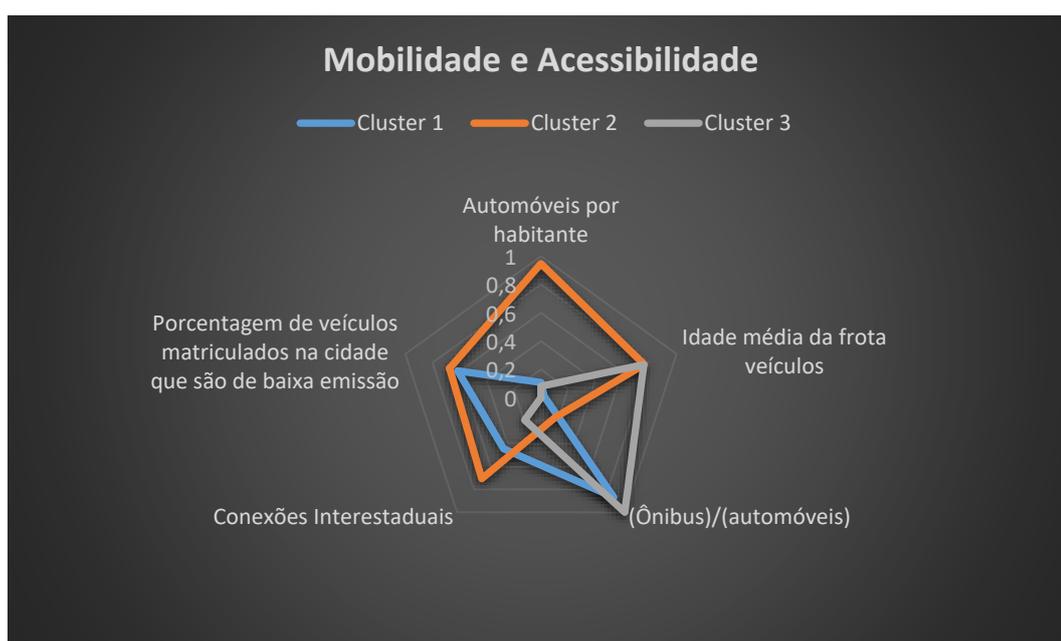
Essa análise possibilita ainda a identificação das principais características e tendências de cada cluster, destacando as áreas em que as cidades se destacam e aquelas em que podem ser necessárias melhorias. Essa visão detalhada das particularidades de cada cluster proporciona uma compreensão mais profunda de como as cidades estão se desenvolvendo em relação aos indicadores analisados. Isso permite aos formuladores de políticas e tomadores de decisão uma melhor orientação para ações e intervenções direcionadas, visando potencializar os pontos fortes e enfrentar os desafios identificados em cada grupo de cidades.

4.3.1. Mobilidade e acessibilidade

Diante do rápido aumento da concentração populacional nos espaços urbanos, a mobilidade e acessibilidade se tornam desafios significativos para as cidades. Nesse contexto, esse eixo temático é avaliado para analisar o desempenho geral das condições relacionadas ao transporte urbano e acessibilidade, levando em consideração indicadores que abordam aspectos relacionados às cidades inteligentes. Essa análise visa fornecer dados e padrões que auxiliem

os municípios na tomada de decisões estratégicas em relação ao planejamento urbano, permitindo a implementação de políticas adequadas para melhorar a mobilidade urbana e promover a acessibilidade de forma eficiente e sustentável. No gráfico 6, é apresentada uma representação gráfica da performance dos clusters em cada indicador do eixo de Mobilidade e Acessibilidade.

Gráfico 6 – Gráfico radar do eixo mobilidade e acessibilidade



Fonte: O Autor (2021)

Com relação ao gráfico 6, alguns aspectos podem ser destacados. No Cluster 2 (representado pela cor laranja), observa-se que as cidades apresentam uma quantidade significativamente maior de automóveis por habitante, em especial Belo Horizonte, que registra o maior índice nesse indicador. Esse dado deve ser levado em consideração por aqueles que são responsáveis pelo trânsito urbano, no sentido de verificar quais as razões para o uso acentuado de automóveis, as medidas podem ser adotadas no sentido de incentivar e integrar ao transporte público meios de transportes alternativos, como o transporte em massa, e outros, além de promover uma gestão eficiente do fluxo de veículos, para evitar congestionamento e acidentes, ainda ressalta-se a importante viabilização que deve ser fornecida para que a utilização dos outros meios de transportes seja promovida. Esse aspecto está relacionado ao indicador “ônibus/automóveis”, que revela que as cidades do Cluster 2 dependem mais o transporte individual em comparação com as cidades dos demais clusters.

No que se refere à quantidade de conexões interestaduais, o Cluster 2 também se

destaca, apresentando o maior número de conexões rodoviárias entre estados. Um exemplo é a cidade de São Paulo, pertencente a esse cluster, que registra 914 destinos em rotas interestaduais. Essa informação está em consonância com a análise realizada pela pesquisa REGIC, descrita na seção anterior, que caracteriza a maioria das cidades desse cluster como metrópoles, possuindo um alto nível hierárquico e exercendo uma influência significativa sobre os demais municípios do país.

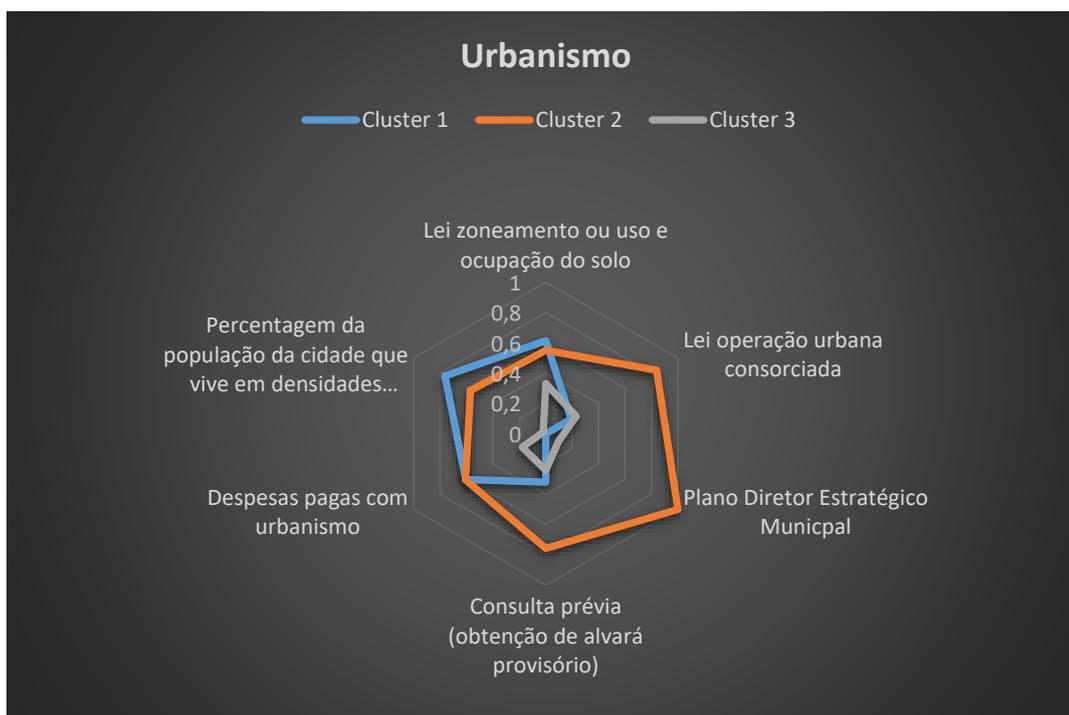
Sobre o indicador “veículos matriculados na cidade que são de baixa emissão de gases”, os índices são baixos em todos os clusters, com destaque negativo para o Cluster 3. Mais uma vez, se torna viável introduzir incentivos e promover os meios de transporte ativos (meios de transporte à propulsão humana), como bicicletas, caminhadas e patinetes, bem como o uso de transportes em massa e de baixa emissão de gases. Essas ações visam atrair os usuários para meios de transporte mais sustentáveis, que além de contribuírem para a preservação do meio ambiente, proporcionam vantagens econômicas a médio e longo prazo e benefícios para a saúde dos usuários.

É fundamental destacar que esses incentivos devem ser acompanhados por um bom desempenho em outros eixos temáticos e indicadores, uma vez que o desempenho em um determinado indicador pode impactar não apenas o eixo temático específico, mas também outros. Um exemplo disso é o indicador "mortes em trânsito", que faz parte do eixo temático de Segurança e está diretamente relacionado ao eixo de Mobilidade e Acessibilidade. Portanto, ao promover estímulos para o uso de meios de transporte alternativos, como a construção de ciclovias e ciclofaixas, é crucial garantir a tranquilidade e a organização do trânsito, exigindo um bom desempenho em outros eixos temáticos, como Segurança e Urbanismo. O indicador de automóveis por habitante também está relacionado ao indicador de mortes no trânsito, com as cidades do Cluster 2 apresentando taxas mais altas em ambos os indicadores.

4.3.2. Urbanismo

O eixo temático referente ao urbanismo está relacionado ao planejamento urbano das cidades e é composto por seis indicadores que medem o desempenho dos municípios nessa área. Por se tratar de questões referentes ao planejamento urbano, o urbanismo está intrinsecamente conectado com os demais eixos, podendo ser considerado um eixo transversal. Dessa forma, os desempenhos do Urbanismo, podem ter um impacto direto nos outros eixos, como Mobilidade, Meio Ambiente, Energia, Saúde, Educação, entre outros, da mesma forma que o urbanismo pode ser influenciado pelos outros eixos temáticos. No gráfico 7, são representados os indicadores e seus respectivos desempenhos para cada cluster.

Gráfico 7 – Gráfico radar do eixo urbanismo



Fonte: O Autor (2021)

É possível observar que o Cluster 2 apresenta um desempenho igual ou superior aos demais clusters em pelo menos quatro indicadores relacionados ao urbanismo. Destaca-se no indicador “lei operação urbana consorciada”, que consiste em uma importante operação para impulsionamento do desenvolvimento em investimentos na infraestrutura a partir de transformações estruturais, melhorias sociais e valorização ambiental. O Cluster 2 demonstra um desempenho significativamente superior nesse indicador, indicando uma maior preocupação das cidades desse cluster com as áreas urbanas. O mesmo padrão é observado no indicador "lei plano diretor estratégico municipal", com uma representatividade ainda mais expressiva por parte do Cluster 2, enquanto os Clusters 1 e 3 apresentam valores consideravelmente inferiores.

No indicador "despesas pagas com urbanismo", que analisa a relação entre as despesas direcionadas ao urbanismo e o total de habitantes da cidade, observa-se que os Clusters 1 e 2 possuem valores muito próximos. Destaca-se a cidade de Curitiba/PR (Cluster 2) e Recife/PE (Cluster 3), sendo as duas cidades que mais investem em despesas relacionadas ao urbanismo por habitante. Por outro lado, o Cluster 3 apresenta um desempenho inferior nesse indicador, como ilustrado no gráfico 7, representado pelos centroides gerados que agrupam as cidades nos clusters. De forma geral, o Cluster 3 possui o pior desempenho no eixo temático de Urbanismo.

Devido à maior conectividade e interdependência do eixo temático de Urbanismo, a inferioridade de desempenho observada no Cluster 3 pode impactar indicadores de outros eixos temáticos, como o indicador "atendimento urbano de água" do eixo temático Meio Ambiente. É possível que o Cluster 3 também apresente um desempenho abaixo da média em outros eixos temáticos, como mobilidade e segurança. Isso ressalta a importância do eixo temático de Urbanismo, que possui uma natureza transversal em relação aos demais, podendo influenciar os resultados em diversos setores de uma cidade. Essas informações destacam a necessidade de atenção e adoção de estratégias de políticas públicas no planejamento urbano das cidades pertencentes ao Cluster 1 e 3, de forma a promover o avanço das cidades inteligentes e melhorar a qualidade de vida urbana.

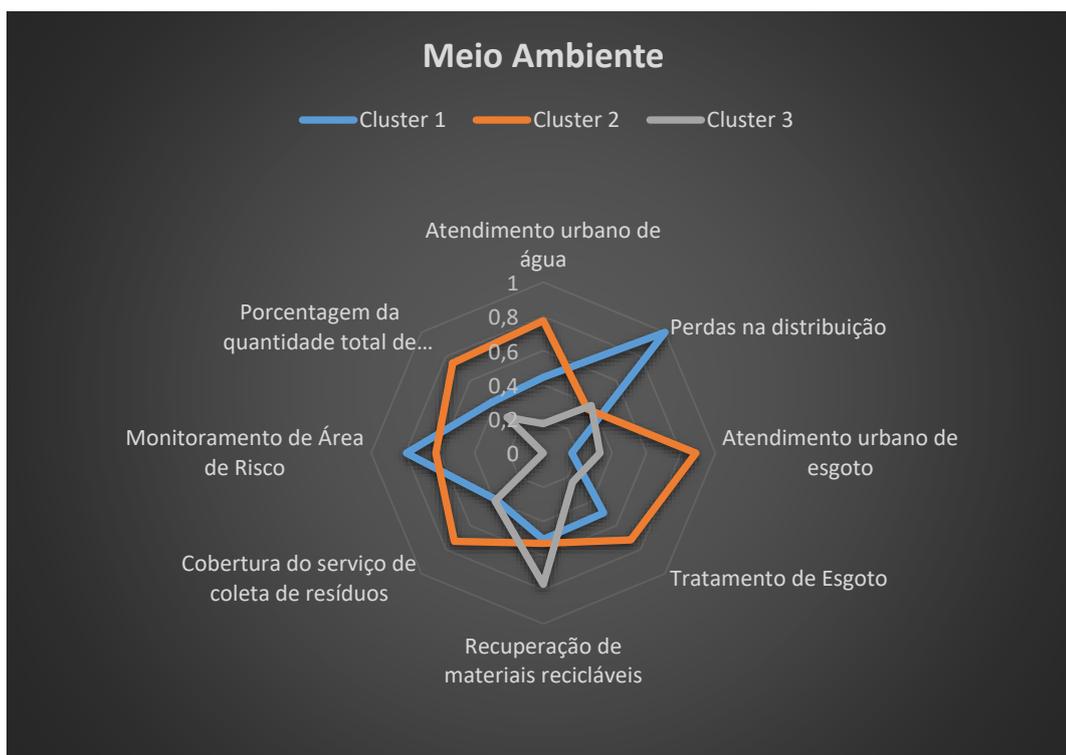
A partir da análise do ranking do eixo temático Urbanismo na pesquisa RCSC, é possível notar uma concentração de cidades da região sudeste brasileira nas primeiras posições do ranking, com destaque para Curitiba/PR e São Paulo/SP. Essa observação corrobora com a composição do Cluster 2, que é predominantemente formado por cidades do sudeste e sul do Brasil. Os resultados do ranking e da análise de clusters indicam uma concordância, embora sejam calculados de maneiras distintas. Portanto, é evidente que os municípios do Cluster 2 possuem características positivas em relação ao urbanismo, o que contribui para o seu bom desempenho geral.

4.3.3. Meio ambiente

Neste eixo temático, pode-se identificar questões ambientais particulares do Brasil, como atendimento urbano de água e coleta de esgoto, questões que já foram solucionadas em cidades mais desenvolvidas, conforme avaliação em estudos internacionais (WAHAB et al., 2020; BENAMROU et al., 2016), ao passo que no Brasil o índice médio de coleta de esgoto é de 53% (URBAN SYSTEMS, 2020). No gráfico 8, é apresentado o comportamento gráfico dos oito indicadores do eixo temático Meio Ambiente, representando os centroides normalizados para cada cluster.

Dentre os indicadores do eixo temático Meio Ambiente, é possível observar no gráfico 8 que o Cluster 2 apresenta maior eficiência em seis deles: "atendimento urbano de água", "perdas na distribuição", "atendimento urbano de esgoto", "tratamento de esgoto", "cobertura do serviço de coleta de resíduos" e "percentagem da quantidade total de resíduos plásticos recuperados na cidade".

Gráfico 8 – Gráfico radar do eixo meio ambiente



Fonte: O Autor (2021)

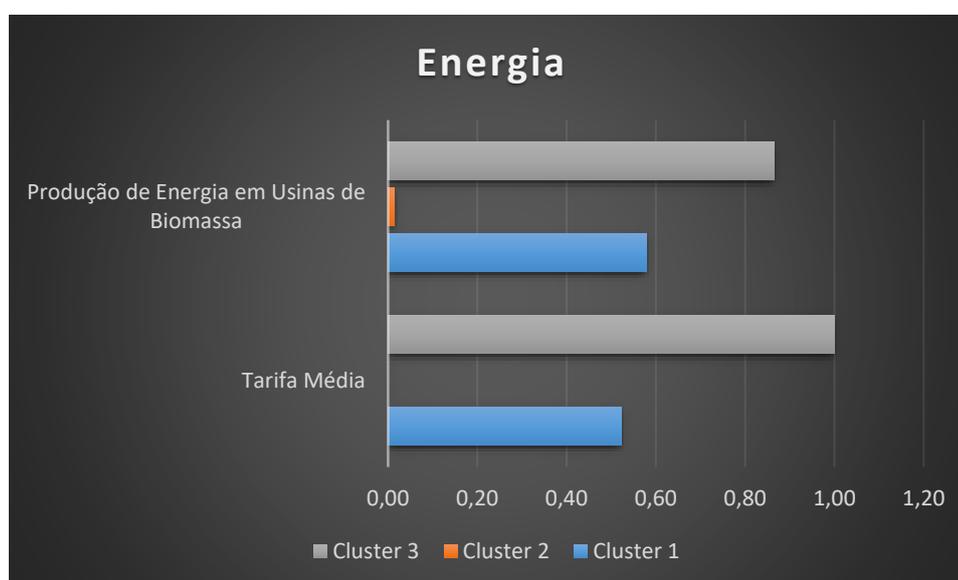
No entanto, nos outros dois indicadores, o Cluster 3 lidera com uma maior taxa de "recuperação de materiais recicláveis", enquanto o Cluster 1 possui um desempenho superior no "monitoramento de área de risco". Vale ressaltar que o Cluster 1 apresenta um índice significativamente pior em relação às "perdas na distribuição" de volume de água.

A análise do eixo temático em conjunto com os demais revela que as cidades do Cluster 2, predominantemente localizadas nas regiões sudeste e sul do país, possuem uma concentração de serviços e infraestrutura que se alinham ao conceito de cidades inteligentes. Por outro lado, o Cluster 3, embora não apresente um padrão geográfico definitivo, é composto em sua maioria por cidades do sudeste do Brasil, com cinco da região sudeste, uma da região nordeste e uma da região norte. No entanto, as cidades do Cluster 3 têm desempenho inferior em diversos aspectos, indicando a necessidade de atenção e a implementação de medidas para melhorar a situação desses municípios. Essa observação está em linha com a análise da pesquisa REGIC, que associa a maioria das cidades do Cluster 3 a outros centros urbanos que exercem influência sobre elas, sugerindo possíveis deficiências ou políticas ineficazes direcionadas a essas localidades.

4.3.4. Energia

O eixo temático de Energia é composto por quatro indicadores, embora a pesquisa do RCSC tenha enfrentado dificuldades na obtenção de dados, o que levou à exclusão de dois indicadores devido à falta de informações para a maioria das cidades estudadas. A ausência de dados e a limitação na quantidade de indicadores disponíveis dificultam uma análise mais abrangente nesse eixo. No entanto, é importante destacar que o tema da energia é relevante para as cidades inteligentes e está interligado a outros eixos, como Tecnologia e Inovação, Segurança, Urbanismo e Governança. Por meio do gráfico 9, é apresentado um gráfico de barras que ilustra o desempenho dos clusters nos dois indicadores disponíveis no eixo de Energia.

Gráfico 9 – Gráfico de barras do eixo de energia



Fonte: O Autor (2021)

Os indicadores presentes no eixo de Energia são ilustrados no gráfico 9, sendo eles: "produção de energia em usinas de biomassa" e "tarifa média". O primeiro indica a potência de geração de energia a partir de usinas de biomassa em operação no município, enquanto o segundo refere-se à média ponderada da tarifa de energia na cidade. A tarifa média leva em consideração o valor da tarifa, que está relacionado a investimentos e perdas no sistema de energia. Esses indicadores fornecem insights sobre a produção de energia renovável e a economia de energia para os municípios estudados.

Na análise do indicador "produção de energia em usinas de biomassa", observa-se que as cidades do Cluster 3 apresentam a maior potência de geração de energia a partir de usinas de

biomassa, seguidas pelas cidades do Cluster 1, e por último, as cidades do Cluster 2. Isso indica que o Cluster 3 possui um desempenho mais significativo nesse aspecto específico de produção de energia a partir de biomassa. Por outro lado, no indicador "tarifa média", o cenário se inverte. O Cluster 2 apresenta a menor taxa de tarifa média, o que é positivo, indicando que as cidades desse cluster possuem uma tarifa média de energia mais baixa. Por outro lado, o Cluster 3 exibe a maior taxa de tarifa média, o que indica que as cidades desse cluster possuem uma tarifa média mais alta. O Cluster 1 fica em uma posição intermediária nesse indicador. Portanto, os clusters apresentam diferentes desempenhos nos indicadores de energia, com o Cluster 3 destacando-se na produção de energia em usinas de biomassa e o Cluster 2 tendo uma tarifa média mais baixa.

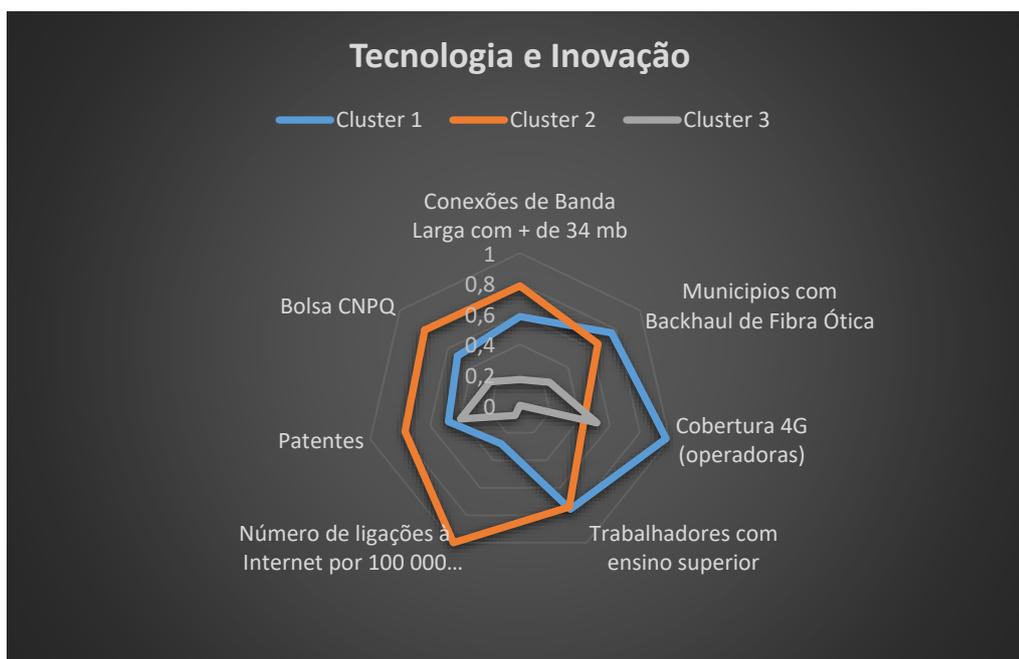
Com base na análise dos dois indicadores em questão, constata-se a dificuldade em obter informações claras e uma avaliação ampla do estado geral dos clusters em relação à Energia. Nesse contexto, torna-se imperativo buscar novos métodos de avaliação, por meio da implementação de novos indicadores, condução de pesquisas e aplicação de tecnologias, a fim de obter dados precisos que permitam uma medição mais precisa da situação das cidades brasileiras. Essa abordagem é essencial para identificar os pontos que requerem otimização visando uma gestão eficiente, com o objetivo final de alcançar um sistema de iluminação inteligente e melhor qualidade de vida para a população.

Como possíveis candidatos a novos indicadores, pode-se pensar em questões da iluminação pública e eficiência energética dentro desse eixo temático. Esses aspectos estão diretamente relacionados ao consumo e uso eficiente de energia nas áreas urbanas. A iluminação pública é um componente importante da infraestrutura urbana e pode ser avaliada quanto à sua eficiência energética, adoção de tecnologias sustentáveis e impacto ambiental. Portanto, considerar a iluminação pública e a eficiência energética dentro do eixo temático de Energia pode proporcionar uma melhor visão sobre o uso responsável e sustentável da energia nas cidades inteligentes.

4.3.5. Tecnologia e inovação

O eixo temático de Tecnologia e Inovação, ilustrado no gráfico 10, abrange sete indicadores relacionados ao desenvolvimento tecnológico e inovação nas cidades. Esses indicadores englobam aspectos como o capital humano, a infraestrutura de telecomunicação, a produção de conhecimento e o estímulo à pesquisa.

Gráfico 10 – Gráfico radar do eixo de tecnologia e inovação



Fonte: O Autor (2021)

Novamente, destaca-se o Cluster 2 pelo seu desempenho superior no presente eixo temático. Especificamente, o indicador “número de ligações à internet por 100.000 habitantes”, revela uma quantidade significativamente maior de acesso ao serviço de comunicação e multimídia em comparação aos demais clusters. Além disso, o Cluster 2, também apresenta melhor desempenho nos indicadores “bolsas CNPQ”, “patentes”, “conexões de banda larga com + de 34 mb”, e ficando bem próximo ao melhor colocado, Cluster 1, no indicador “trabalhadores com ensino superior”. No entanto, o indicador “cobertura 4,5G” mostra um contraste, pois o Cluster 2 oferece menor cobertura entre os seus municípios, inclusive ficando abaixo do Cluster 3, que registra a performance mais baixa em todos os outros indicadores.

Conforme mencionado, é importante destacar que o Cluster 3 demonstra um desempenho inferior na maioria dos indicadores do eixo temático de Tecnologia e Inovação. Essa constatação ressalta a necessidade de atenção especial aos centros urbanos pertencentes a esse cluster, a fim de promover incentivos e melhorar o acesso à infraestrutura tecnológica. Essas medidas podem impulsionar o desenvolvimento dessas cidades e reduzir a disparidade em relação aos demais clusters no que diz respeito à inovação e tecnologia.

O Cluster 3 se destaca negativamente no indicador "trabalhadores com ensino superior", com uma porcentagem significativamente inferior em comparação aos outros clusters. Essa situação pode estar relacionada ao eixo temático de Educação, que também apresenta índices

inferiores nos indicadores "vagas em universidade pública" e "número de dispositivos digitais de aprendizagem disponíveis por 1000 alunos". Além disso, o destaque negativo observado no Cluster 3 em relação à Tecnologia e Inovação também é evidente no indicador "percentual da força de trabalho ocupada em ocupações no setor de TIC". Esse indicador, baseado na ISO 37122, pertence ao eixo temático de Economia e representa a proporção de empregos formais ocupados pelo setor de TIC na cidade (URBAN SYSTEMS, 2020).

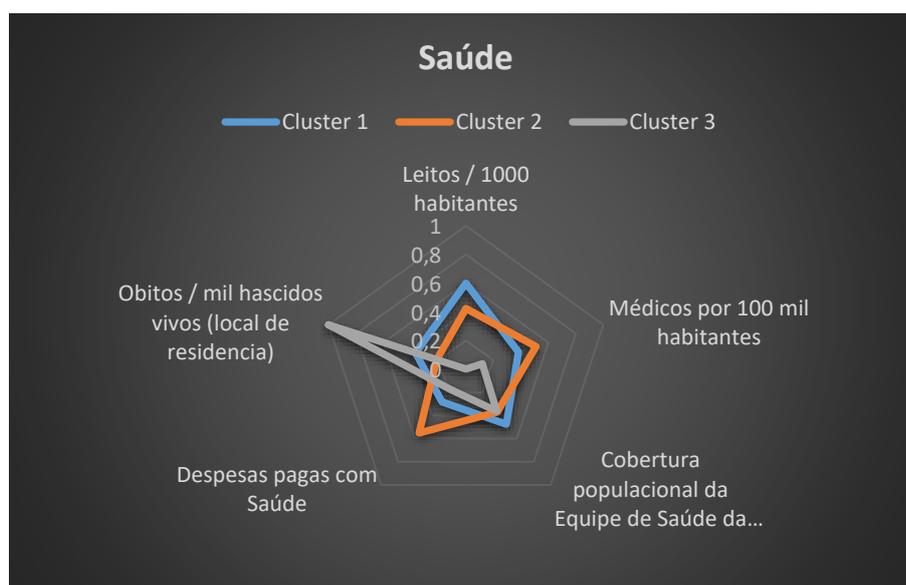
Uma possível explicação para a melhor performance dos Clusters 1 e 2 nos indicadores do eixo temático de Tecnologia e Inovação pode ser atribuída à concentração de investimentos em infraestrutura tecnológica, bem como à disponibilidade de espaços dedicados à inovação e à maior acessibilidade nas capitais. No entanto, é importante destacar que os resultados positivos para as cidades não podem ser alcançados apenas direcionando recursos para um único setor. As cidades inteligentes são construídas a partir de várias dimensões interconectadas, exigindo um planejamento abrangente e estruturado para obter resultados significativos. É necessário considerar a integração e a sinergia entre os diferentes eixos temáticos para promover um desenvolvimento urbano equilibrado e sustentável.

4.3.6. Saúde

O eixo temático de Saúde é composto por cinco indicadores que abordam questões relacionadas a investimentos públicos na área de qualificação de profissionais, taxa de mortalidade infantil e disponibilidade de leitos. Além disso, outros indicadores de diferentes eixos estão relacionados à saúde urbana. No gráfico 11, é apresentado o desempenho dos clusters em relação a esse eixo temático.

Mediante análise do gráfico 11, fica evidente que o Cluster 3 apresenta um desempenho inferior em relação aos demais clusters em quase todos os indicadores retratados. Destaca-se o indicador "óbitos / mil nascidos vivos (local de residência)", que representa a taxa de mortalidade infantil e revela valores significativamente mais altos nesse cluster. Uma possível explicação para esse padrão observado no Cluster 3 é a falta de estrutura sanitária nas cidades que o compõem. Indicadores de outros eixos temáticos, como Meio Ambiente e Urbanismo, que abordam a infraestrutura de saneamento básico e o planejamento urbano, podem contribuir para problemas de saúde pública, como é o caso dos indicadores "atendimento urbano de água" e "tratamento de esgoto" do eixo temático Meio Ambiente, os quais apresentam desempenho negativo nas cidades do Cluster 3.

Gráfico 11 – Gráfico radar do eixo de saúde



Fonte: O Autor (2021)

Os clusters 1 e 2 apresentam um desempenho intermediário, sem grandes disparidades. O Cluster 1 demonstra melhores resultados nos indicadores "leitos / 1000 habitantes" e "cobertura populacional da equipe de saúde da família". Por sua vez, o Cluster 2 lidera nos indicadores "médicos por 100 mil habitantes", "óbitos / mil nascidos vivos (local de residência)" e "despesas pagas com saúde". No entanto, vale ressaltar que essa maior despesa em saúde não se reflete de forma clara em todos os indicadores, pois o Cluster 2 não se destaca positivamente em todos os demais indicadores. No entanto, é possível estabelecer uma possível correlação entre esse indicador e o menor número de óbitos infantis e maior número de médicos por habitante observados no cluster.

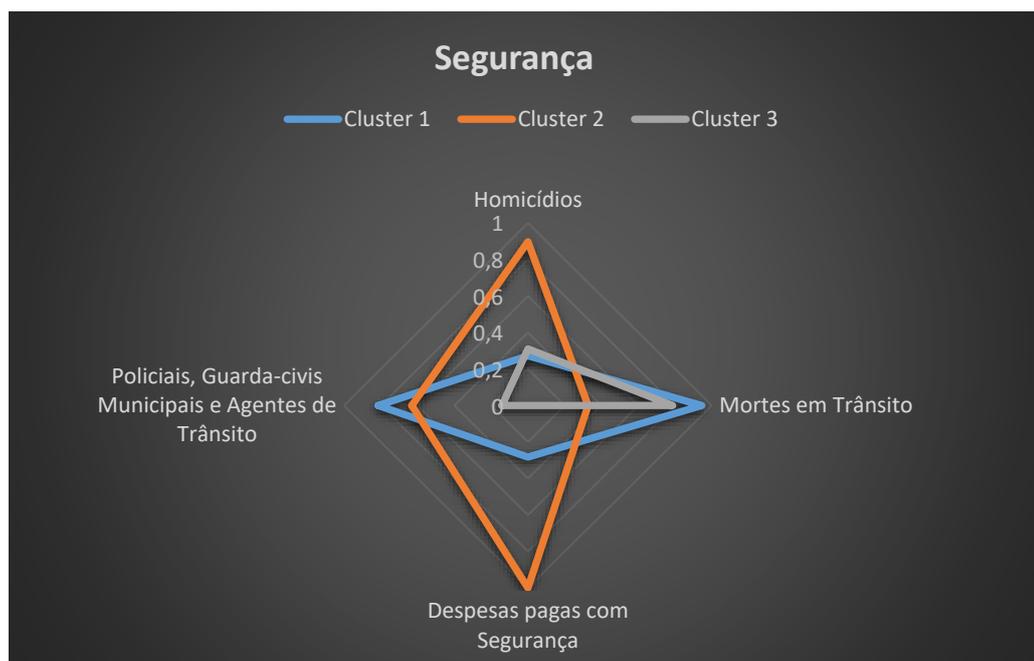
É fundamental ressaltar a interconexão existente entre os diversos eixos temáticos, o que implica que o planejamento, investimento e implementação de medidas propostas pelas cidades inteligentes devem considerar todas as possibilidades a médio e longo prazo, levando em conta a interligação entre as diferentes dimensões que caracterizam os municípios. Embora o indicador "ciclovias" não esteja presente na análise do estudo devido à falta de dados adequados para as cidades, é importante destacar seu potencial impacto na saúde da população. Portanto, os responsáveis e planejadores urbanos devem dar a devida atenção a esse aspecto, além dos indicadores já mencionados nesta análise.

4.3.7. Segurança

O eixo temático de Segurança é composto por quatro indicadores que abordam aspectos

relacionados ao investimento público per capita no setor, taxa de homicídios municipais por cem mil habitantes, taxa de acidentes fatais em transporte e número de guarnições policiais por população. Essas questões desempenham um papel crucial na busca pela harmonia social nos centros urbanos e têm impacto direto na melhoria do desempenho dos demais eixos temáticos. No gráfico 12 é apresentado o comportamento gráfico do eixo de Segurança.

Gráfico 12 – Gráfico radar do eixo de segurança



Fonte: O Autor (2021)

Conforme verifica-se no gráfico 12, o eixo de Segurança apresenta comportamentos distintos para cada cluster. Contudo, o Cluster 2 demonstra comportamento superior aos demais, com destaque positivo para o indicador “despesas pagas com segurança”, relativo ao investimento público no setor por habitantes, com despesas significativamente maiores do que o restante dos clusters. Esse aspecto pode ser responsável ou estar relacionado pela melhor atuação dessas cidades no indicador de “homicídios” e “mortes em trânsito”, visto que o Cluster 2 possui menores taxas em ambos indicadores. Além disso, o Cluster 2 não fica muito atrás do líder Cluster 1 em “policiais, guardas-civis municipais e agentes de trânsito”, referente ao efetivo policial por habitante.

O Cluster 1, apesar do destaque em efetivo policial, que possui uma maior quantidade de policiamento, apresenta pior desempenho em homicídios e mortes em trânsito, essa informação pode sugerir que as cidades do Cluster 1 não direcionam de forma eficaz o recurso

de policiamento para segurança. Porém, deve-se levar em consideração outros dados para melhor análise. Além disso, o Cluster 1 não apresenta bons números nas despesas pagas com segurança pública, conforme aponta o indicador de “despesas paga com segurança”.

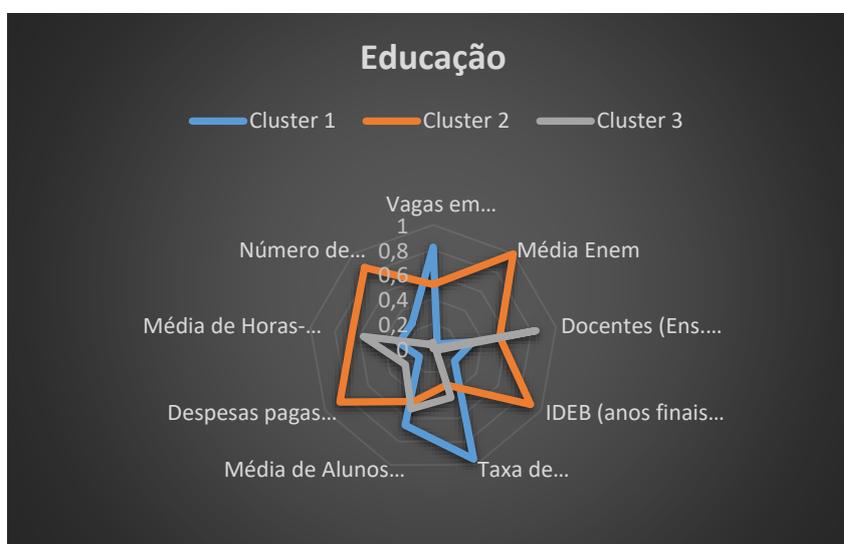
O Cluster 3 registra o pior investimento em segurança e menor taxa de efetivo policial entre todos os clusters. Além disso, apresenta piores taxas nos dois indicadores de mortes.

Diante disso, é possível levantar possibilidades sobre a falta de investimento em segurança, especialmente no Cluster 3. Por outro lado, o Cluster 1 apresenta um nível um pouco mais elevado de investimentos, mas parece não otimizar esses recursos de maneira eficiente. Enquanto isso, o Cluster 2 se destaca como estando em um caminho mais promissor em termos de investimentos em segurança.

4.3.8. Educação

O eixo temático de Educação engloba diversos indicadores que são essenciais para avaliar o panorama educacional das cidades estudadas. Isso inclui aspectos como a disponibilidade de vagas em universidades públicas, a qualidade do corpo docente do ensino médio público e a taxa de abandono escolar, entre outros. Essa abordagem permite uma visão global do cenário educacional das cidades, facilitando a identificação de padrões, características e áreas que requerem melhorias no setor público de educação. Essas melhorias são cruciais para proporcionar oportunidades à população em diversos setores, como empreendedorismo, inovação e desenvolvimento econômico. No gráfico 13 são esboçadas as características de cada agrupamento para o presente eixo temático.

Gráfico 13 – Gráfico radar do eixo de educação



Fonte: O Autor (2021)

Conforme ilustrado no gráfico 13, o eixo de Educação compreende nove indicadores. O Cluster 2 apresenta melhor atuação em sete deles, indicando uma performance superior nas cidades que compõem esse cluster. O indicador de “despesas pagas com educação” apresenta um destaque positivo para o Cluster 2, que investe uma quantia significativamente maior por habitante em educação em comparação com os demais clusters. Além disso, o Cluster 2 apresenta uma pontuação média mais alta no ENEM, um melhor Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) em anos finais do ensino público, menores taxas de abandono do ensino médio, menor número de alunos por turma (o que permite melhor qualidade individual na prestação de ensino para os alunos), maior valor médio de hora-aula diária e um maior número de dispositivos digitais de aprendizagem disponíveis para os alunos.

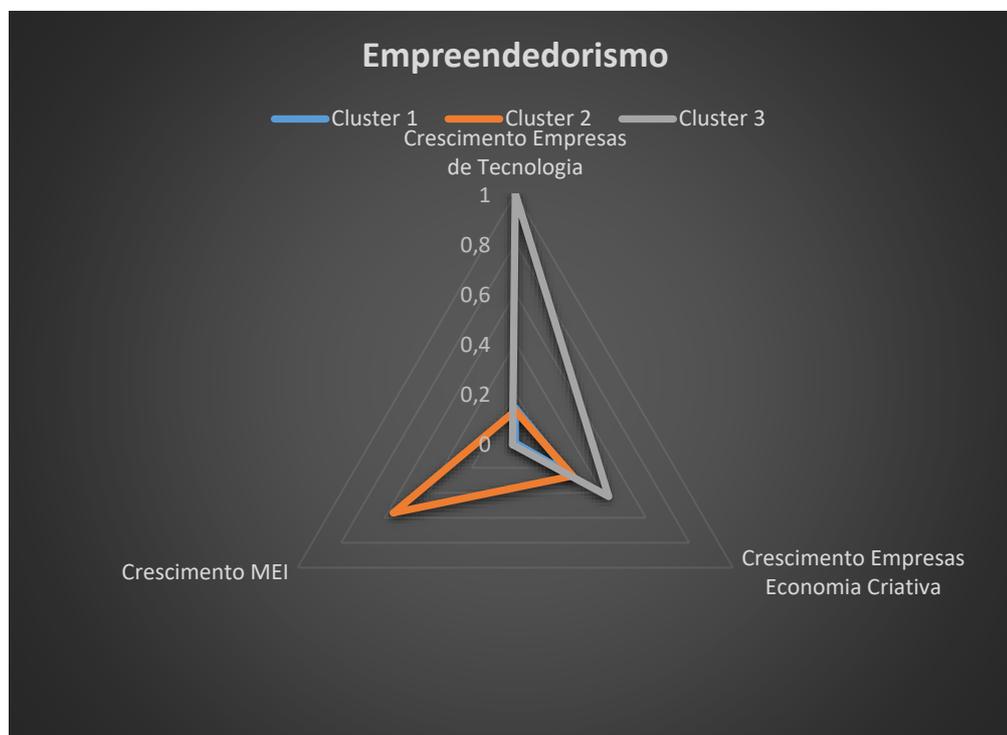
Os Clusters 1 e 2, alternam entre segunda e terceira posição no restante dos indicadores, exceto em: “vagas em universidade pública”, liderado pelo Cluster 1 e “docentes com ensino superior”, liderado pelo Cluster 3. Há destaque negativo no indicador de “taxa de abandono”, relativo ao índice de abandono do ensino médio para ensino público, com pior desempenho para o Cluster 1, com possível relação para questões sociais e econômicas, em que os alunos precisam deixar a educação para trabalhar. Dessa forma, é requerida a atenção dos municípios para possibilidades em iniciativas que mantenham os alunos durante essa fase de ensino e alcancem patamares superiores de oportunidades de emprego, talvez com eventual aumento do investimento para educação, com alternativas e complementação de renda para os alunos através de bolsas de estudo, visto que o Cluster 1 também apresenta menor despesa paga com a educação. O Cluster 3 se comporta de forma negativa principalmente no indicador de “vagas em universidade pública”, referente a relação do número de vagas em instituições de ensino superior.

4.3.9. Empreendedorismo

Um dos 11 eixos temáticos que compõem o RCSC, o Empreendedorismo conta com cinco indicadores, porém por falta de dados para maioria das cidades utilizadas no estudo, dois foram eliminados, restando três indicadores. Esses indicadores contemplam questões relacionadas a microempresas individuais (MEI), economia criativa e tecnologia. Com isso, busca avaliar o desenvolvimento do empreendedorismo em nível municipal, um tema essencial para as cidades inteligentes, pois integra diversos pontos positivos, como a geração de novos empregos, estímulo do comportamento criativo da população, inclusão social, desenvolvimento de novas tecnologias, técnicas, produtos e serviços. Além disso, é um eixo temático que possui conexões e oferece soluções para outros eixos, como Educação, Economia, Tecnologia e

Informação, Saúde e Segurança. No gráfico 14, é ilustrado o comportamento do presente eixo temático.

Gráfico 14 – Gráfico radar do eixo de empreendedorismo



Fonte: O Autor (2021)

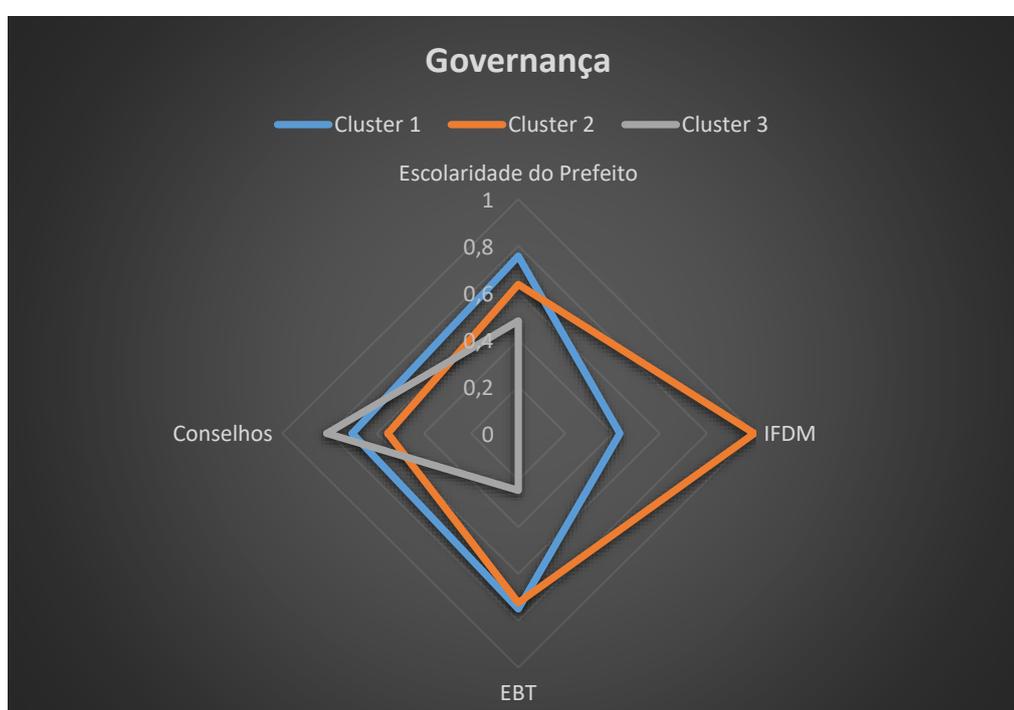
Conforme mostrado no gráfico 14, destaca-se o Cluster 3 no indicador "crescimento das empresas de tecnologia", que se refere ao crescimento de empresas que estão envolvidas no desenvolvimento de programas de computador personalizados sob encomenda e no desenvolvimento e licenciamento de programas de computador personalizáveis e não personalizáveis. É importante ressaltar o desempenho notável do município de Serra/ES, que apresenta a maior porcentagem de crescimento nesse indicador.

No indicador "crescimento MEI", que representa o número de microempreendedores individuais formalizados, observa-se um número superior no Cluster 2. Já no indicador "crescimento das empresas de economia criativa", os clusters apresentam desempenhos relativamente próximos, com uma pequena vantagem para o Cluster 3. É importante ressaltar a relevância do investimento e da preocupação das cidades com a educação da população desde a educação básica. Isso proporciona o desenvolvimento de uma população capacitada e estimula a busca por soluções inovadoras, pesquisa e empreendedorismo.

4.3.10. Governança

A governança desempenha um papel fundamental no processo de políticas públicas estratégicas para o desenvolvimento dos centros urbanos inteligentes. O eixo temático de Governança engloba indicadores que buscam avaliar o nível de formação dos prefeitos, o avanço municipal, a transparência do município e a participação social. Além disso, outros indicadores de diferentes eixos temáticos complementam essa avaliação. No gráfico 15, é apresentado o desempenho dos clusters em cada um dos indicadores do eixo de Governança.

Gráfico 15 – Gráfico radar do eixo de governança



Fonte: O Autor (2021)

Conforme esboçado, o gráfico 15 apresenta os quatro indicadores concebidos para avaliação da Governança das cidades. O eixo demonstra certo grau de similaridade entre os comportamentos dos Clusters 1 e 2, com estreita vantagem para o Cluster 1, exceto, no indicador denominado “IFDM”, Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM), estudo que acompanha anualmente o desenvolvimento socioeconômico dos municípios brasileiros em três áreas de atuação: Emprego & renda, Educação e Saúde (URBAN SYSTEMS, 2020), nesse indicador, ocorre maior acentuação positiva por parte do Cluster 2, com maior índice avaliado para Florianópolis/SC.

O indicador nomeado por “EBT”, significa Escala Brasil Transparente (EBT), é usado

para avaliar a transparência pública em cidades brasileiras, que busca medir o nível de cumprimento de dispositivos da Lei de Acesso à Informação (LAI). Em “conselhos”, refere-se à avaliação presença de canais participativos a respeito de temas importantes para o desenvolvimento das cidades, como: educação, saúde, direitos humanos, segurança, defesa civil e segurança alimentar.

O Cluster 3, encontra-se em pior posição com relação aos demais clusters na maior parte dos indicadores, principalmente em transparência pública e no índice FIRJAN, além de possuir menores níveis de escolaridade dos prefeitos.

O eixo de Governança, em termos de influência aos demais eixos temáticos, se torna semelhante ao eixo de Urbanismo, por ser transversal aos demais, impactando e contendo relação com os outros. Com isso, os indicadores pertencentes a outros eixos temáticos também possuem relação direta com o eixo de Governança, como por exemplo o indicador “monitoramento de áreas de riscos” (Meio Ambiente), “lei de uso e ocupação do solo” (Urbanismo), “despesas pagas com urbanismo” (Urbanismo), “despesas com saúde” (Saúde), “mortalidade infantil” (Saúde), “despesas pagas com segurança” (Segurança) e “despesas paga com educação (Educação).

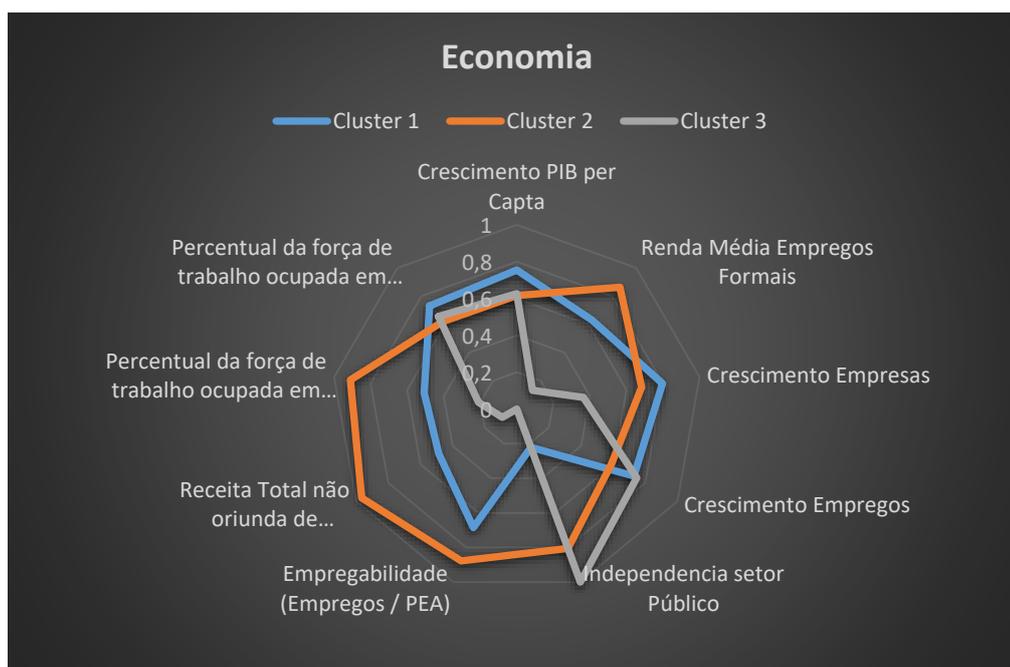
4.3.11. Economia

O último eixo temático abrange a análise da economia dos municípios, por meio de nove indicadores que visam avaliar elementos como o crescimento econômico de setores relevantes para as cidades inteligentes, o rendimento médio da população, a origem da receita, a segurança econômica e a proporção de empregos disponíveis. O gráfico radar, representado no gráfico 16, apresenta o desempenho dos clusters em cada um desses indicadores.

Com base na análise do gráfico 16, é possível observar que o Cluster 2 apresenta um desempenho geral superior no eixo temático de Economia. Destacam-se positivamente nesse cluster os indicadores: "receita total não oriunda de transferências", que avalia a capacidade do município em gerar receita própria sem depender de transferências externas; "percentual da força de trabalho ocupada no setor de TIC", que indica a quantidade de profissionais empregados no setor de TIC; "empregabilidade", que reflete a disponibilidade de vagas formais na cidade; e "renda média de empregos formais", que representa a média de rendimentos dos trabalhadores formais empregados na cidade (URBAN SYSTEMS, 2020). Esses resultados ressaltam a solidez econômica e o potencial de geração de empregos do Cluster 2. Além disso, mesmo que o Cluster 2 não esteja em primeiro lugar em todos os indicadores restantes, ele não apresenta uma diferença significativa em relação ao líder, mantendo-se próximo em termos de

desempenho. Isso significa que as cidades que fazem parte do Cluster 2, principalmente localizadas nas regiões Sul e Sudeste do país, possuem um desempenho econômico mais favorável do ponto de vista das cidades inteligentes, quando comparadas às cidades dos Clusters 1 e 3.

Gráfico 16 – Gráfico radar do eixo de economia



Fonte: O Autor (2021)

Ao contrário do Cluster 2, o Cluster 3 apresenta um desempenho inconsistente, sendo o pior entre os clusters analisados. As principais deficiências do Cluster 3 estão relacionadas à remuneração média dos trabalhadores, empregabilidade, receita total não oriunda de transferências e crescimento de empresas. Com valores intermediários na maioria dos indicadores, as cidades do Cluster 1 mantêm um desempenho regular ou ligeiramente superior em alguns indicadores, como crescimento de empresas e crescimento do produto interno bruto (PIB) per capita. No entanto, o Cluster 1 fica em desvantagem no indicador "independência do setor público", que busca avaliar a dependência ou independência de uma cidade em relação aos empregos no setor público, fornecendo uma medida do dinamismo econômico por meio da capacidade de empregar um maior número de pessoas fora da administração pública.

4.4. Caracterização dos clusters

As análises realizadas na seção anterior permitiram compreender o comportamento dos

clusters em relação aos diferentes eixos temáticos e seus respectivos indicadores, considerando as cidades brasileiras com mais de 500.000 habitantes selecionadas. Com o objetivo de fornecer uma melhor compreensão das características dos três clusters, esta seção apresentará os principais aspectos identificados em cada um deles.

Cluster 1 (12 municípios): o Cluster 1 é composto por 12 capitais, principalmente da região Nordeste, com exceção de Manaus/AM, Cuiabá/MT e Belém/PA. A população estimada desses municípios varia de 623.614 a 2.900.319 habitantes, e seu PIB per capita varia de R\$21.708,55 a R\$40.199,11, com média de R\$28.302,35. Embora apresentem o menor PIB entre os três clusters, eles registram o maior crescimento do PIB. Em geral, esses municípios demonstram um desempenho intermediário.

No que diz respeito aos indicadores de Tecnologia e Inovação, o Cluster 1 possui uma taxa mais elevada de municípios com infraestrutura de backhaul de fibra ótica, que proporciona uma conexão de alta capacidade de transmissão. Além disso, esses municípios têm uma maior cobertura de operadoras que oferecem a tecnologia 4,5G. Destaca-se também que o Cluster 1 apresenta a maior proporção de trabalhadores formais com ensino superior completo em relação aos trabalhadores formais dos municípios.

Com relação às despesas pagas com Urbanismo nas cidades do Cluster 1, observa-se que, desde que sejam gerenciadas e direcionadas de forma eficaz, o valor investido por essas cidades indica uma atenção adequada área. Esses valores são semelhantes aos do segundo cluster. No entanto, é importante ressaltar que essas cidades precisam dedicar maior atenção a alguns indicadores relacionados às leis voltadas para o planejamento urbano, a fim de impulsionar o desenvolvimento e o investimento na infraestrutura urbana. Além disso, destaca-se o bom desempenho do Cluster 1 em indicadores relacionados à Governança. Essas cidades apresentam resultados superiores ou semelhantes aos demais clusters em aspectos como escolaridade do prefeito, Escala Brasil Transparente (EBT) e participação em conselhos municipais. Isso indica uma maior qualificação dos gestores municipais e um maior nível de transparência e participação da sociedade nas decisões governamentais, aspectos fundamentais para uma governança eficiente voltada para cidades inteligentes.

Apesar dos resultados indicados, é necessário dar muita atenção a determinados pontos identificados por meio da análise dos clusters. Por exemplo, há um baixo número de ligações à internet por 100.000 habitantes, pouca disponibilidade de serviços online nos sites da prefeitura e/ou secretaria, problemas na distribuição de água, deficiências no atendimento de esgoto urbano, questões de segurança, entre outros. O desempenho nessas áreas pode ser aprimorado por meio de investimentos direcionados para a área de TI, como será abordado a seguir.

Levando em consideração os indicadores positivos em Governança, as autoridades devem reconhecer o potencial dessas capitais e estabelecer processos e estratégias inteligentes. O indicador referente à lei de plano diretor estratégico municipal se destaca negativamente no Cluster 1. Portanto, os governos locais podem incluir pautas de cidades inteligentes como prioridade para o desenvolvimento desses centros urbanos, abordando e implementando estratégias alinhadas com essa visão.

Cluster 2 (20 municípios): esses municípios possuem uma população variando de 516.524 a 12.396.372 habitantes, com um PIB per capita médio de R\$ 56.960,65. Os quais têm uma população e renda significativamente superior em comparação aos outros clusters. A maioria dos municípios está localizada na região Sul e Sudeste do país, com destaque para a região Sudeste, e costumam ocupar as primeiras posições nos rankings brasileiros de Cidades Inteligentes. Essas cidades demonstram uma maior preocupação com indicadores de urbanismo e possuem uma infraestrutura mais robusta em termos de planejamento urbano, tecnologia e meio ambiente. Como resultado, apresentam um desempenho superior na maioria dos eixos temáticos avaliados, incluindo Urbanismo, Meio Ambiente, Tecnologia e Inovação, Saúde, Segurança, Educação e Economia. Em particular, possuem o maior percentual de força de trabalho ocupada no setor de TIC e uma maior capacidade de geração de informações por parte da população, graças aos acessos ao serviço de comunicação multimídia. Os municípios desse cluster também demonstram um maior incentivo à pesquisa científica e tecnológica, bem como à formação de pesquisadores, com destaque para Florianópolis/SC nesse indicador.

Embora seja necessário incluir novos indicadores para uma análise mais abrangente, no âmbito da Mobilidade e Acessibilidade, observa-se uma maior dependência de meios de transporte convencionais, como automóveis, nas cidades do Cluster 2, o que contribui para altos níveis de poluição. Além disso, é possível notar que algumas capitais desse cluster estão cercadas por municípios pertencentes à região metropolitana. No entanto, muitas vezes, as políticas públicas e a infraestrutura são priorizadas apenas nas capitais, o que limita os benefícios estendidos às cidades vizinhas, como parece ser o caso de algumas cidades do Cluster 3.

Cluster 3 (7 municípios): o Cluster 3 é composto por cidades que se assemelham a cidades satélites, que se desenvolvem em torno de uma cidade principal. Apresentam indicadores socioeconômicos intermediários, com um PIB per capita médio de R\$37.198,71. No entanto, essas cidades não possuem recursos ou prioridade para investir em ferramentas e infraestrutura de TI, o que impacta seu desempenho como cidades inteligentes, e permanecem dependentes das grandes metrópoles próximas a elas. Essa é uma das razões que justifica seu

agrupamento como o cluster de pior desempenho em comparação aos demais.

A média de população estimada nas cidades desse cluster (806.918 habitantes) demonstra que são menos populosas e possuem menor densidade populacional em relação aos outros dois clusters. É importante destacar que a maioria dessas cidades está localizada na região Sudeste, assim como as cidades do Cluster 2, porém com indicadores significativamente diferentes. Isso indica que cidades da mesma região têm estágios variados em termos de cidades inteligentes, exigindo abordagens distintas por parte dos planejadores urbanos no que se refere a políticas públicas voltadas para cidades inteligentes. Além disso, observa-se que esse cluster apresenta o pior desempenho na maioria dos eixos temáticos abordados no estudo, que estão interconectados, como Urbanismo, Saúde, Meio Ambiente, Segurança, entre outros. Portanto, os projetos e investimentos para implementação de soluções de cidades inteligentes nessas áreas urbanas devem ser integrados, levando em consideração as particularidades e desafios específicos de cada município, a fim de melhorar a qualidade de vida da população por meio da aplicação de tecnologia e inovação nos diversos eixos temáticos.

No quadro 4 é apresentado o resumo dos principais aspectos observados nos resultados da clusterização.

Quadro 4 – Resumo das características dos Clusters

Clusters	Características que definem o grupo
Cluster 1	Níveis de influência intermediários (REGIC) PIB per capita médio de R\$28.302,35 População dos municípios entre 623.000 e 2.900.000 habitantes Maior parte são capitais localizadas na região Nordeste Indicadores intermediários na maior parte dos eixos temáticos
Cluster 2	Níveis de influência superiores (REGIC) PIB per capita médio de R\$56.960,65 População dos municípios entre 516.000 e 12.396.000 habitantes Maior parte são cidades localizadas nas regiões Sul e Sudeste Maior força de trabalho ocupada no setor de TIC Cidades mais digitais (maior conectividade entre os cidadãos) Melhores indicadores em investimento na tecnologia e inovação Melhores indicadores na maior parte dos eixos temáticos
Cluster 3	Níveis de influência inferiores ou sem classificação (REGIC) PIB per capita médio de R\$37.198,71 População dos municípios entre 514.600 e 1.404.000 habitantes Maior parte das cidades localizadas na região Sudeste Municípios que demonstram depender das grandes cidades Piores indicadores na maior parte dos eixos temáticos

Fonte: O Autor (2023)

4.5. Identificação das iniciativas em TI

Embora as TI não possam produzir resultados por si só, é evidente a sua importância e o seu papel na consolidação das cidades, pois atuam de forma transversal em todas as dimensões, como um facilitador que auxilia as cidades a se tornarem inteligentes. Com base nisso, e levando em consideração as particularidades identificadas através da clusterização das cidades, é relevante abordar as principais iniciativas em TI de alguns municípios presentes nos clusters e suas possíveis diferenças, uma vez que essas iniciativas podem refletir o estágio de desenvolvimento dessas cidades, pois a tecnologia é um dos principais componentes das cidades inteligentes. A seleção das cidades para análise foi realizada com base no critério de que pelo menos uma cidade da amostra estaria entre os municípios mais representativos em termos de população, além da disponibilidade de dados.

Com relação as cidades que compõem o Cluster 1, utilizaremos as seguintes cidades como base para análise das iniciativas em TI: Salvador/BA (Nordeste), Fortaleza/CE (Nordeste), Recife/PE (Nordeste), e Aracaju/SE (Nordeste).

Salvador/BA: na cidade de Salvador, Bahia, foi inaugurado em setembro de 2012 o Tecnocentro, o primeiro prédio do parque tecnológico local. O Tecnocentro tem como objetivo apoiar as iniciativas do estado nas áreas de ciência, tecnologia e inovação, promovendo pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos em diversas áreas. O parque tecnológico abriga instituições de ensino, empresas e incubadoras, criando um ambiente propício para a colaboração e o crescimento do setor tecnológico na região (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PROMOTORAS DE EMPREENDIMENTOS INOVADORES, 2022).

A partir de 2016, a Superintendência de Trânsito do Salvador (Transalvador) implementou o projeto Núcleo de Operações Assistidas (NOA) Cidadão, que possibilita a participação dos cidadãos como colaboradores por meio de um aplicativo para celular. Com esse aplicativo, a população pode reportar chamados, abrir solicitações e ocorrências relacionadas ao trânsito e acompanhar em tempo real o status da solução de cada chamado. Essa iniciativa visa engajar os cidadãos no monitoramento e na melhoria do trânsito na cidade de Salvador, permitindo uma maior interação entre a população e os órgãos responsáveis pelo gerenciamento do tráfego (SALVADOR, 2022).

Em 2017, a prefeitura de Salvador lançou o programa Salvador 360, com o objetivo de estimular o crescimento da cidade e aprimorar a gestão e os serviços públicos por meio de soluções inovadoras. Um dos eixos desse programa é o de cidades inteligentes. Nos dois anos de implementação do programa, foram realizados diversos projetos, incluindo a criação do Hub

Salvador, um centro tecnológico que oferece espaços de coworking para empresas, startups e instituições parceiras, sendo considerado um dos melhores do país. Além disso, foi criado o “portal simplifica”, que possibilita o atendimento digital para os cidadãos acessarem os serviços da prefeitura. Anteriormente, esses serviços eram disponibilizados apenas de forma presencial, mas com o novo portal, houve uma redução no tempo de serviço, facilitando o acesso e agilizando os processos. No âmbito da conectividade, também foram identificadas iniciativas para a implantação de uma rede de internet sem fio pública (Wi-Fi) em Salvador. O primeiro ponto de acesso foi disponibilizado para a população no Pelourinho, contribuindo para uma maior acessibilidade à internet e promovendo a inclusão digital na cidade (VIA ESTAÇÃO CONHECIMENTO, 2016; FAROL NEWS, 2018).

Verifica-se também a realização de investimentos em TI no âmbito da mobilidade urbana, por meio da implementação de semáforos inteligentes. Esses semáforos são equipados com sensores que contabilizam a quantidade de veículos nas vias, permitindo a otimização dos tempos de abertura e fechamento de acordo com o fluxo de tráfego. Além disso, os semáforos são integrados a controladores por uma rede de fibra óptica com extensão de 67 quilômetros. Paralelamente, foram realizadas aquisições de sistemas que compreendem painéis de exibição eletrônicos e inteligentes para o gerenciamento do tráfego rodoviário, os painéis de mensagens variáveis, bem como câmeras de alta resolução (SALVADOR, 2021).

No ano de 2020, a prefeitura de Salvador estabeleceu uma parceria com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) visando a implementação de um projeto de cidades inteligentes. Nessa iniciativa, destaca-se o planejamento voltado para tecnologias de mobilidade que fazem uso de IA para o gerenciamento do tráfego e controle dos semáforos, bem como a utilização de câmeras inteligentes. Essas tecnologias possibilitarão a obtenção de dados em tempo real pela central de controle, que trabalhará em conjunto com o NOA, proporcionando maior segurança e eficiência na mobilidade e acessibilidade em Salvador (BAHIA JORNAL, 2021).

Fortaleza/CE: a capital do estado do Ceará desenvolveu o plano denominado Fortaleza 2040, que visa a implementação de estratégias de médio e longo prazo, com o horizonte de conclusão em 2040. Esse projeto é composto por sete eixos que estruturam as ações para enfrentar os desafios da cidade, permitindo o acompanhamento em tempo real por meio de um dashboard online. A implantação do plano teve início em 2017. O Fortaleza 2040 utiliza recursos das TI para obter resultados em diversas áreas, tais como: a ampliação do monitoramento em tempo real da rede semafórica, a instalação de mais 70 câmeras de monitoramento, a disponibilização de Wi-Fi em 100% da frota de ônibus e a criação de uma

plataforma digital que fornece dados de acidentes de trânsito para a população e para os planejadores urbanos (FORTALEZA, 2020; FORTALEZA, 2023).

O governo do estado do Ceará, em colaboração com entidades governamentais e iniciativa privada, elaborou o Planejamento Estratégico de Tecnologia da Informação e Comunicação (PETIC). Esse planejamento tem como objetivo principal agregar valor à população e ao governo por meio da inovação nas políticas e iniciativas públicas. As ações e projetos foram mapeados de acordo com os objetivos estratégicos estabelecidos, contemplando implementações de curto, médio e longo prazo. Em Fortaleza, diversas iniciativas foram implementadas como parte do PETIC, incluindo o aprimoramento dos sistemas da prefeitura, o desenvolvimento de aplicativos para serviços públicos, a instalação de pontos de acesso à internet sem fio em locais públicos, a implantação de câmeras de segurança em locais estratégicos, a capacitação dos servidores públicos em TI, entre outras ações (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2018)

Ademais, a prefeitura de Fortaleza tem implementado cursos gratuitos de tecnologia destinados à população. Essa iniciativa importante busca disseminar a cultura digital e familiarizar os cidadãos com as tecnologias, ao mesmo tempo que estimula a criatividade. O programa "Fortaleza Digital", conduzido pela prefeitura, tem como objetivo simplificar a vida dos cidadãos, promovendo uma comunicação fácil com os órgãos municipais e centralizando a oferta dos principais serviços públicos por meio de plataformas digitais. A prefeitura da capital cearense destaca, também, que diversos projetos estão sendo desenvolvidos, envolvendo o uso das ferramentas tecnológicas em áreas como educação, segurança, saúde, finanças e desenvolvimento social. Dentre esses projetos, destaca-se a utilização da IA para aprimorar os atendimentos digitais por meio de chatbots, visando oferecer um atendimento ao cidadão com maior qualidade e eficiência (FORTALEZA, 2020; FORTALEZA, 2023).

No mês de outubro de 2019, os dados referentes à rede de semáforos de Fortaleza revelaram um crescimento significativo de 59,4% tomando como partida o ano de 2012. Dos 955 semáforos instalados na cidade, 521 deles são considerados inteligentes, pois possuem tecnologia integrada aos laços de sensores instalados no pavimento. Essa integração permite que a rede de semáforos ajuste automaticamente o tempo de abertura e fechamento de acordo com a detecção do fluxo de veículos, promovendo uma melhor fluidez no trânsito. Além disso, os semáforos inteligentes estão conectados à Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC), possibilitando a captação de dados e informações em tempo real. Essa conexão é essencial para que sejam tomadas decisões rápidas e assertivas com base nas informações fornecidas pelos semáforos, contribuindo para uma gestão eficiente do tráfego na cidade

(FORTALEZA, 2019).

Recife/PE: na cidade do Recife, destaca-se uma importante iniciativa chamada Hacker Cidadão. Trata-se de uma maratona, organizada pela prefeitura do Recife, secretarias e Empresa Municipal de Informática (EMPREL), que funciona como um concurso cultural. Esse programa, iniciado em 2014, recebe o apoio de diversos órgãos e instituições. A cada ano, são realizadas edições do Hacker Cidadão com diferentes temáticas relacionadas aos desafios enfrentados pelo município. Na edição de 2019, por exemplo, as temáticas abordadas foram a melhoria da vacinação da população e a redução de acidentes de transporte terrestre. Nessa iniciativa, os participantes são incentivados a encarar esses desafios sob a perspectiva de soluções inteligentes, utilizando os dados disponibilizados no portal de dados abertos da prefeitura do Recife, além de empregar tecnologia, criatividade e inovação para o desenvolvimento de soluções. As equipes concorrem a diversos prêmios, de acordo com a colocação alcançada. Como resultado desse programa, diversos problemas urbanos enfrentados pela capital pernambucana foram solucionados por meio do uso das ferramentas de TI, contribuindo para tornar Recife uma cidade mais inteligente (RECIFE, 2019; DADOS ABERTOS PERNAMBUCO, 2020).

Na região metropolitana do Recife (RMR), os cidadãos contam com o laboratório de dados denominado Fogo Cruzado. Esse laboratório foi instalado em abril de 2018 e também opera no Rio de Janeiro. Através de um aplicativo para smartphones, a violência armada é mapeada e notificada pelos próprios usuários e parceiros da equipe. O objetivo desse aplicativo é informar os usuários sobre tiroteios e disparos de armas de fogo, além de monitorar os efeitos desses eventos por meio de diferentes indicadores. Dessa forma, o Fogo Cruzado proporciona uma maior consciência da violência armada na região metropolitana do Recife, permitindo que os cidadãos estejam mais informados sobre a situação de segurança em sua localidade (DADOS ABERTOS PERNAMBUCO, 2020).

Um exemplo adicional do uso da tecnologia para melhorar a qualidade de vida da população nos centros urbanos é o aplicativo Conecta Recife. Esse aplicativo oferece mais de 120 serviços da prefeitura, bem como informações relevantes para turistas e moradores locais. Para promover a inclusão da população nesses serviços digitais, foi desenvolvido desde 2014 o programa Internet para Todos, também conhecido como Conecta Recife Wi-Fi. Esse programa disponibiliza diversos pontos de acesso à internet sem fio em bairros e espaços públicos de Recife. O projeto é resultado de uma parceria entre a EMPREL e a Secretaria de Turismo e Lazer. A EMPREL é uma empresa pública que faz parte da administração indireta da prefeitura do Recife e atua desde 2013, fornecendo serviços de TI para diversas áreas da prefeitura. A

EMPREL desempenha um papel crucial no planejamento estratégico voltado para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos por meio de iniciativas que compõem o governo eletrônico (e-gov) (RECIFE, 2014; RECIFE, 2023).

Através do sistema "Bate Pronto", a população de Recife tem a oportunidade de registrar e acompanhar ocorrências de acidentes de trânsito sem vítimas por meio de uma plataforma digital. Esses relatos são direcionados à Autarquia de Trânsito e Transporte Urbano (CTTU/Recife), onde são analisados para que seja emitido o Registro de Sinistro de Trânsito (RST) de forma digital. Além disso, a prefeitura do Recife implementou a "zona azul eletrônica", um sistema que otimiza a gestão do estacionamento público por meio de aplicativos de celular. Essa iniciativa proporcionou praticidade e segurança tanto para a população quanto para a administração municipal na administração das vagas nos centros urbanos (RECIFE, 2023).

Aracaju/SE: em setembro de 2017, foi apresentado à Câmara de TI da Fecomércio e ao Fórum Empresarial o programa "Aracaju Inteligente, Humana e Criativa". Esse programa tem como objetivo principal utilizar a TI em conjunto com diversas ferramentas em seus projetos. Sua finalidade central é direcionada para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, por meio da otimização dos processos e atividades nos centros urbanos, além de buscar resultados competitivos e econômicos através das melhorias implementadas (ARACAJÚ, 2017).

Durante a efetivação de uma parceria entre a prefeitura de Aracaju e o Tribunal de Justiça de Sergipe (TJ/SE), o prefeito destacou a importância da TI e da infraestrutura básica de transferência de dados para projetar uma cidade inteligente. Essa parceria, estabelecida em fevereiro de 2018, envolve o compartilhamento de aproximadamente 60 quilômetros de fibra óptica pertencentes ao TJ, que serão utilizados para melhorar diversos setores de Aracaju, como educação, segurança, saúde e mobilidade. Logo após o programa voltado para Cidades Inteligentes no ano de 2017, é possível observar ações e iniciativas nas políticas públicas de Aracaju, direcionadas para a adoção da TI e outras medidas relevantes, que evidenciam a busca pela transformação da capital sergipana em uma cidade inteligente (ARACAJÚ, 2018).

Nesse contexto, em 2018 as escolas municipais de Aracaju deram início à oferta do serviço de matrículas online, visando proporcionar maior comodidade à população durante o processo de matrícula dos alunos na rede de educação. Esse serviço foi disponibilizado por meio de um portal desenvolvido pelo setor de tecnologia da Secretaria Municipal de Educação (SEMED), permitindo que as matrículas fossem realizadas de forma totalmente digital, tanto por meio de um site quanto por um aplicativo para smartphones. No mesmo período, a

prefeitura de Aracaju firmou um contrato com o Ministério das Cidades para a implementação de uma rede de semáforos inteligentes na cidade. O projeto teve início com a instalação desses semáforos em 150 cruzamentos estratégicos. A responsabilidade pela implantação ficou a cargo da empresa mexicana Semex, que também prestou serviços semelhantes em cidades como Toronto, no Canadá, e Nova York, nos Estados Unidos. Esses semáforos inteligentes são capazes de realizar a detecção do fluxo de veículos por meio de câmeras e priorizar a liberação de acordo com a quantidade de veículos, proporcionando maior mobilidade e organização no trânsito de Aracaju (ARACAJÚ, 2018).

A partir das medidas tomadas anteriormente pela prefeitura da capital, observa-se também o início da implantação do cabeamento de fibra óptica em 2020 nas escolas da rede municipal. Até abril de 2020, 18 escolas contavam com o serviço de forma completa, e o projeto objetiva continuidade até que todas as escolas fossem contempladas com a implantação.

A partir das ações tomadas anteriormente pela prefeitura de Aracaju, foi iniciada a implantação de cabeamento de fibra óptica nas escolas da rede municipal em 2020. Até o mês de abril do mesmo ano, 18 escolas já contavam com o serviço de forma completa, sendo que o objetivo do projeto é estender a implantação para todas as escolas da rede. Essa iniciativa visa proporcionar uma infraestrutura de comunicação mais avançada e eficiente nas escolas, permitindo o acesso à internet em alta velocidade e contribuindo para a integração de recursos tecnológicos no ambiente educacional. Com a implantação do cabeamento de fibra óptica, busca-se melhorar a qualidade e a disponibilidade dos serviços digitais oferecidos nas escolas municipais, promovendo uma educação mais conectada e alinhada com as demandas da sociedade atual. (ARACAJÚ, 2020).

Durante a pandemia da COVID-19, a prefeitura de Aracaju implementou ferramentas digitais para facilitar o acesso aos serviços de saúde pela população. Por meio de um portal e um aplicativo, os cidadãos podem realizar uma série de serviços oferecidos pelo Sistema Único de Saúde (SUS) de Aracaju. Isso inclui agendamento de consultas, consulta à lista de espera, acesso a informações sobre medicamentos e agendamento de exames, entre outros. Essa iniciativa tem como objetivo principal proporcionar maior comodidade e agilidade no acesso aos serviços de saúde, evitando deslocamentos desnecessários e filas de espera presenciais. Além disso, o sistema digital permite que a administração pública obtenha dados e informações relevantes, que podem ser analisados e utilizados no aprimoramento do planejamento da saúde (VOIPY TECNOLOGIA, 2020).

Em 2020, a prefeitura de Aracaju promoveu uma ação importante ao se tornar uma das cidades pioneiras no Brasil a adotar a plataforma Bright Cities. Essa iniciativa visa apoiar a

gestão de políticas públicas direcionadas para Cidades Inteligentes. A plataforma oferece serviços especializados que analisam indicadores para avaliar o progresso das cidades inteligentes (ARACAJÚ, 2020).

Um dos projetos integrantes do programa "Aracaju Inteligente, Humana e Criativa" é o "Aracaju Conectada", que tem como objetivo implementar pontos de acesso à internet sem fio gratuitos em diversos locais da cidade. Em 2020, o Parque da Sementeira tornou-se o primeiro espaço público a receber a instalação desses pontos de distribuição de Wi-Fi gratuito para a população (F5 NEWS, 2020). O resumo das iniciativas realizadas pelas quatro cidades do Cluster 1 pode ser visualizado no quadro 5.

Quadro 5 – Resumo das iniciativas do Cluster 1

Eixo temático / Cidades	Salvador/BA	Fortaleza/CE	Recife/PE	Aracaju/SE
Mobilidade e Acessibilidade	Aplicativo / Semáforos Inteligentes / Painéis / Câmeras / IA	Semáforos Inteligentes / Wi-fi na frota / Aplicativo	Aplicativo	Semáforos Inteligentes
Urbanismo	x	x	x	x
Meio Ambiente	x	x	x	x
Energia	x	x	x	x
Tecnologia e Inovação	Tecnocentro / Hub Salvador / Fibra Óptica / Wi-fi / Salvador 360	Wi-fi / Fortaleza 2040 / Cursos TI / Fortaleza Digital	Hacker Cidadão / Wi-fi	Fibra Óptica / Wi-fi / Programa Aracaju Inteligente
Saúde	x	x	x	Aplicativo
Segurança	x	Câmeras	Aplicativo	x
Educação	Tecnocentro	Cursos TI	x	Aplicativo / Fibra Óptica
Empreendedorismo	Tecnocentro / Hub Salvador	Cursos TI	x	x
Governança	Aplicativo / Salvador 360	Fortaleza 2040 / PETIC / Aplicativo / Capacitação em TI / IA / Fortaleza Digital	Aplicativo	Programa Aracaju Inteligente / Brith Cities
Economia	Tecnocentro / Hub Salvador	Fortaleza 2040	Hacker Cidadão	Programa Aracaju Inteligente

Fonte: O Autor (2023)

Para o Cluster 2: Curitiba/PR (Sul), São Paulo/SP (Sudeste), Belo Horizonte/MG (Sudeste) e Campinas/SP (Sudeste).

Curitiba/PR: verifica-se que, desde o ano de 1985, ações voltadas para a área da informática são priorizadas, destacando-se a criação do Centro de Integração de Tecnologia do Paraná (CITPAR). Posteriormente, através de um estudo conduzido pelo CITPAR, foi identificada a escassez de mão de obra qualificada no mercado de informática e na região metropolitana de Curitiba. Diante dessa necessidade, foi desenvolvido, em parceria com

instituições colaboradoras, um programa de pós-graduação denominado Projeto de Informática Industrial (PII). Paralelamente, na década de 1990, surgiu o Centro Internacional de Tecnologia de *Software* (CITS) (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2010).

Entre os anos de 2009 e 2019, ocorreu um notável crescimento de 100% na força de trabalho total no setor de TI em Curitiba. Esse crescimento expressivo é impulsionado principalmente pelo aumento de aproximadamente 77,8% na mão de obra qualificada em nível superior. Esse cenário coloca Curitiba em destaque como a cidade brasileira com a maior produtividade no setor de TI, conforme apontado por uma pesquisa realizada em 2020 pela Associação Catarinense de Tecnologia. É interessante notar que as primeiras startups proeminentes desenvolvidas fora de São Paulo também têm sua origem na capital paranaense, surgindo ao longo da década de 2010, a exemplo da Ebanx, Fintech e Contabilizei. Desde então, o ecossistema de startups tem se fortalecido e mantido sua presença marcante na cidade, que, em 2020, ocupa a quinta posição no ranking de capitais brasileiras com maior número de startups, contabilizando 380 unidades identificadas pela ABStartup (CONSELHO NACIONAL DAS FUNDAÇÕES ESTADUAIS DE AMPARO À PESQUISA, 2020; GAZETA DO POVO, 2020, CURITIBA, 2023).

Para incentivar a inovação em Curitiba, a prefeitura lançou o projeto Vale do Pinhão em 2017. Inicialmente, o projeto visava atuar em apenas um bairro da capital, mas posteriormente foi ampliado para toda a cidade, com o objetivo de integrar sistematicamente ações inovadoras. O programa envolve universidades, fundos de investimento, centros de pesquisa e desenvolvimento, startups, incubadoras, ações culturais e a sociedade em geral. Dentre os resultados do Vale do Pinhão, destacam-se aplicativos públicos como o "Saúde Já" e o "Curitiba App". O primeiro permite agendar consultas nos postos de saúde, enquanto o segundo centraliza os principais serviços públicos em um único local para facilitar a interação entre cidadãos e a administração pública. Além disso, surgiram iniciativas como os Faróis da Inovação, com o primeiro Fab Lab da capital, oferecendo espaço para estudantes, empresas e a sociedade desenvolverem ideias inovadoras com equipamentos modernos e impressoras 3D. Também se destaca o Worktiba, o primeiro espaço de coworking público municipal do Brasil (CURITIBA, 2019).

Em 2019, o setor público responsável pelo planejamento urbano de Curitiba (Ippuc) investiu na tecnologia *Building Information Modelling* (BIM) com o objetivo de otimizar a elaboração de projetos públicos. O BIM, que significa Modelagem de Informação da Construção, consiste em um conjunto de tecnologias, metodologias e políticas que possibilitam a integração das informações e dos setores envolvidos nos projetos de edificações ou instalações

de forma organizada. Através de *softwares* baseados no BIM, é possível gerar modelos detalhados da obra em perspectiva 3D, o que agiliza os processos, aumenta a qualidade e reduz os custos envolvidos. De acordo com o supervisor da implantação, a prefeitura de Curitiba pretende expandir o uso dessa tecnologia para outras obras públicas e secretarias municipais (CURITIBA, 2019).

Em relação à mobilidade urbana de Curitiba, dados indicam uma redução de 25% na quantidade de acidentes de transporte ao longo de quatro anos. O presidente da URBS - Urbanização de Curitiba S/A destaca que a aplicação de novas tecnologias contribuiu significativamente para essa melhoria. A frota de ônibus da cidade recebeu um acréscimo de mais de 300 veículos integrados com novas tecnologias, que também serão estendidas para toda a frota. Essas atualizações oferecem aos passageiros inovações como reconhecimento facial, venda de créditos por aplicativos e pagamento de tarifa por celular e cartões, além de otimizar a gestão da frota e promover a integração entre as linhas. Além disso, a prefeitura adquiriu um novo *software* de gerenciamento e planejamento operacional de transporte coletivo, que permite aos passageiros consultar rapidamente itinerários das linhas, horários e rotas, entre outras informações (CURITIBA, 2019; CURITIBA, 2020).

Com o objetivo de estimular a emissão de nota fiscal de serviços, foi criado em 2018 o programa "Nota Curitibana". Esse projeto promove sorteios mensais de prêmios e gera créditos para os contribuintes. A partir de março de 2019, o programa passou a estar disponível para acesso por meio de um aplicativo para celular, oferecendo diversas funcionalidades, como atualização de dados cadastrais e contas bancárias para recebimento dos prêmios e créditos gerados, possibilidade de resgates, utilização dos créditos para abater o IPTU, entre outras facilidades. O lançamento dessa novidade ocorreu durante o Smart City Expo (CURITIBA, 2019).

Em Curitiba, é evidente o esforço em implementar a TI em diversas áreas, incluindo a saúde, segurança, planejamento urbano e mobilidade. Na área da saúde, o Hospital Municipal do Idoso se destaca pelo uso de um sistema de monitoramento em tempo real que possibilita a supervisão eficaz dos pacientes internados. Na segurança, o investimento em drones auxilia a guarda municipal em simulações de emergências nas redes de ensino do município. No âmbito do planejamento urbano, uma parceria com o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) visa aprimorar o ordenamento público com tecnologias como IA, veículos autoguiados, robôs e sensores para mapeamento de atividades urbanas e aplicação de medidas inteligentes. Em relação à mobilidade, a prefeitura adquiriu placas de rua digitais, equipadas com sensores, antenas e câmeras, proporcionando informações e serviços úteis à população, incluindo

semáforos inteligentes. Além disso, a prefeitura tem realizado reuniões com representantes de startups, abordando o potencial das novas tecnologias para melhorar o ambiente urbano e a qualidade de vida dos cidadãos. Esse conjunto de ações e investimentos reflete o compromisso de Curitiba em incorporar soluções tecnológicas para enfrentar os desafios urbanos e proporcionar avanços significativos em diversos setores (CURITIBA, 2019).

São Paulo/SP: o Sistema Paulista de Parques Tecnológicos (SPTec), criado em 2009 pelo governo de São Paulo, tem como objetivo apoiar e articular os parques tecnológicos do estado para impulsionar o desenvolvimento econômico e promover a formação de novas empresas de base tecnológica. Por meio desse programa, São Paulo busca fortalecer seu ecossistema de inovação, proporcionando condições favoráveis para o crescimento e a competitividade de empreendimentos que se fundamentam na tecnologia, contribuindo para o avanço tecnológico e o progresso econômico da região (SÃO PAULO, 2023).

Através da lei nº 7.619, de 23 de junho de 1971, foi criada a Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Município de São Paulo (PRODAM-SP) em parceria com a prefeitura de São Paulo, com o propósito de atuar conjuntamente em soluções de TIC para tornar o município mais conectado e inteligente. Destacam-se projetos como o portal "De Olho nas Contas" que trouxe maior transparência à administração pública ao disponibilizar dados sobre funcionários, remuneração e convênios. O programa "São Paulo Mais Fácil" descentralizou serviços públicos por meio de plataformas digitais, incluindo sistemas como o "Sistema de Licenciamento Eletrônico de Atividades – SLEA", "Sistema de Licenciamento de Construções – SLC", "De Olho na Obra" e o "Micro Empreendedor Individual – MEI". A empresa também lançou projetos para estimular a capacitação de jovens na área de TIC (SÃO PAULO, 2020).

O relatório de gestão da PRODAM-SP no período de 2013 a 2016 destaca o investimento e a implementação de projetos de infraestrutura tecnológica, bem como a busca por aproximar a sociedade da administração pública. Dentre as iniciativas tecnológicas, destacam-se a computação em nuvem, IoT, BD, geotecnologias, código aberto, sensores e aplicativos de smartphones. Assim como, são apresentados exemplos de ferramentas desenvolvidas a partir dessas tecnologias, como o "GeoSampa", lançado em 2015, que fornece informações georreferenciadas e dados da administração pública ao público em geral (SÃO PAULO, 2013).

Nesse contexto, a partir de 2016, a PRODAM empreendeu a implementação do Centro de Monitoramento e Gestão Integrada em São Paulo. Esse sistema é capaz de monitorar em tempo real ocorrências e eventos georreferenciados, como enchentes, deslizamentos e

alagamentos, possibilitando o acionamento automático dos setores responsáveis e agilizando o atendimento de emergências. Adicionalmente, através do programa "Praças Wi-Fi Livre SP", a PRODAM instalou 120 pontos de acesso gratuito à internet em espaços e praças públicas da cidade (SÃO PAULO, 2013).

Em 2017, a prefeitura de São Paulo lançou o Plano Estratégico de Tecnologia - PETIC, com o objetivo de elevar o nível de maturidade no uso da TI em seus diversos órgãos. O plano estabelece metas, orientações e objetivos estratégicos anuais, que são avaliados por meio de uma escala de maturidade de TIC. Com essa iniciativa, a cidade busca uma estruturação sólida para o desenvolvimento como uma cidade inteligente, com base na efetiva utilização das TI (SÃO PAULO, 2023).

A prefeitura de São Paulo e seus parceiros promovem ainda, iniciativas como o programa SP Tech, que visa incentivar a formação profissional na área de TI e a inserção dos estudantes no mercado de trabalho. Na mobilidade urbana, destaca-se o programa Bike SP, que busca estimular o uso da bicicleta como meio de transporte, oferecendo recompensas pelo deslocamento realizado com bicicletas e utilizando semáforos inteligentes. Também são implementadas soluções digitais, como plataformas para transmissão de aulas remotas na rede municipal de ensino e plataformas online para facilitar a busca por emprego e o processo de contratação por parte das empresas. Tais iniciativas refletem o compromisso da cidade de São Paulo em fomentar o desenvolvimento tecnológico, a mobilidade sustentável e o bem-estar da população (SÃO PAULO, 2020; SÃO PAULO, 2021; SÃO PAULO, 2023).

Belo Horizonte/MG: em 2017, a prefeitura de Belo Horizonte lançou o programa "Belo Horizonte Cidade Inteligente", com o objetivo de alcançar diversos propósitos. Entre esses objetivos destacam-se: aprimorar a infraestrutura tecnológica como base para uma gestão integrada das áreas administrativas; estabelecer parcerias com o ecossistema tecnológico local para desenvolver soluções inovadoras; fortalecer o setor de TIC ao incentivar empresas de base tecnológica; promover eventos na área de tecnologia para posicionar a cidade como referência no cenário da TIC (BELO HORIZONTE, 2018).

Belo Horizonte dispõe de uma infraestrutura altamente favorável para a implementação de soluções em TI. A cidade conta com uma extensa rede de 711 quilômetros de fibra óptica, conectando diversos pontos do município. Além disso, há cerca de mil pontos de *Hotspots* com acesso gratuito à internet sem fio, inclusive em áreas de vulnerabilidade social. Destaca-se o Centro de Operações de Belo Horizonte (COP-BH), espaço estratégico que integra diversos setores, como segurança, mobilidade, defesa civil e fiscalização, possuindo 3.737 câmeras distribuídas pela capital. A disponibilização de dados abertos em formatos usuais e o laboratório

aberto (BHLab) são essenciais para o avanço de novas tecnologias e inovação na cidade, especialmente no âmbito da IoT. Outras iniciativas relevantes incluem aplicativos móveis de solicitação de serviços, a utilização da tecnologia *Blockchain* no sistema de "Rotativo digital" para a administração municipal, um laboratório aberto dedicado à IoT para prototipagem de serviços, o Sistema Integrado de Gestão, Monitoramento e Informações do Transporte Coletivo Municipal (BRT MOVE) e o reconhecido georreferenciamento em todo o Brasil.

Além disso, a capital abriga mais de 300 startups, especialmente na região de San Pedro Valley, e é sede de quatro grandes corporações do setor de TI. Vale destacar o parque tecnológico BH-TEC, que figura entre os maiores do Brasil. A prefeitura de Belo Horizonte promove o evento *Hackathon*, uma competição que incentiva o desenvolvimento de ideias tecnológicas de código aberto para enfrentar os desafios urbanos. No ano de 2018, a prefeitura de Belo Horizonte integrou-se à rede Fab City, com sede na França, que conecta 34 cidades ao redor do mundo. O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de cidades autossuficientes e globalmente conectadas, por meio da aplicação de novos modelos urbanos e tecnologias inovadoras (BELO HORIZONTE, 2018; BELO HORIZONTE, 2019).

Campinas/SP: beneficiada por incentivos fiscais para empresas de tecnologia, Campinas abriga gigantes do setor de *software* e inovação, como Dell, IBM e Caiena. Investimentos em instituições de ensino desde a década de 2000 estimularam o crescimento tecnológico, gerando várias empresas de TI, incluindo a Movile, CI&T, Matera e Dextra. Em 2015, a Associação Catarinense de Empresas de Tecnologia (Acate) revelou um faturamento médio anual de R\$9,1 milhões para as empresas de tecnologia em Campinas, ultrapassando até mesmo as capitais São Paulo e Rio de Janeiro. Por tais motivos, Campinas é reconhecida como o "Vale do Silício brasileiro". Essa trajetória evidencia a importância das políticas de incentivo e dos investimentos no setor, impulsionando a inovação e o desenvolvimento tecnológico na cidade (CONNECTED SMART CITIES, 2020; ONLINE APPLICATIONS, 2021).

Nesse cenário, em 2012, Campinas despontou como uma possível participante de projetos voltados para cidades inteligentes, explorando soluções de TI para diversas áreas do município. Já em 2016, a cidade contava com cinco parques tecnológicos, denominados Polos de Alta Tecnologia, abrangendo uma área total de 33.824.000 m². Esses parques acolhem diversas organizações de base tecnológica, startups e incubadoras, consolidando o ambiente propício para o desenvolvimento tecnológico e inovação na região (CAMPINAS, 2012; CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS, 2015)

Visando agilizar e simplificar o processo de consulta para construções e empresas, um aplicativo foi desenvolvido em Campinas. Esse aplicativo identifica o zoneamento disponível

de forma instantânea, proporcionando acesso rápido às informações. Outro aplicativo, o "App Portal do Cidadão", centraliza diversos serviços da gestão pública, oferecendo praticidade aos cidadãos. Além disso, a cidade também conta com o COLAB, uma plataforma que conecta diretamente a prefeitura com os cidadãos, e o "Busão na Hora", que permite a consulta em tempo real de pontos de parada, horários e estimativas de chegada dos ônibus. Outras iniciativas digitais, como o "Car Sharing", "Bike Sharing" e "Carona Solidária", também estão disponíveis em Campinas, promovendo o compartilhamento de carros e bicicletas (CONNECTED SMART CITIES, 2019).

A cidade de Campinas possui uma extensa rede de fibra óptica, que conecta prédios públicos da saúde, segurança, educação e outros setores, totalizando aproximadamente 400 km. Além disso, estão em andamento planos para adicionar mais 80 km à infraestrutura existente. Com a integração das redes de fibra óptica de empresas terceiras, a maior parte da área urbana de Campinas já possui cobertura. Através do programa "Campinas Digital", em parceria com a Informática de Municípios Associados (IMA), a prefeitura disponibiliza acesso à internet sem fio pública em 34 espaços da cidade. Com o objetivo de promover maior inclusão digital, o IMA planeja expandir o acesso à internet sem fio para mais 20 locais. Além disso, estão previstas melhorias na velocidade da fibra óptica e a instalação de equipamentos atualizados (CONNECTED SMART CITIES, 2020; CAMPINAS, 2019).

Campinas, em busca de avanços como cidade inteligente, tem como objetivo melhorar a gestão urbana, economia, qualidade de vida da população, sustentabilidade e operações de serviços urbanos. Para isso, publicou o Plano Estratégico Campinas Cidade Inteligente (PECCI 2019-2029), que alinha suas metas com a Agenda 2030 da ONU. O PECCI abraça a transformação digital e utiliza tecnologias como IoT, IA, indústria 4.0 e BD para alcançar seus resultados. Exemplos de aplicações de TI no plano incluem o controle de tráfego por câmeras e semáforos inteligentes, gerenciamento de horários de ônibus com sensores e georreferenciamento, monitoramento de segurança com câmeras de alta definição e sensores, além de um centro de operações para gerenciamento de desastres e iluminação pública inteligente. Campinas pretende consolidar-se como uma cidade inovadora e sustentável para enfrentar os desafios futuros (CAMPINAS, 2019).

A adoção do conceito de *Living Lab* pelo PECCI permite o desenvolvimento de novas iniciativas na cidade, como o projeto Safecity. Esse projeto incorpora soluções de reconhecimento facial na segurança pública de Campinas, integradas à Central Integrada de Monitoramento (CIMCamp), que conta com diversos pontos de monitoramento em toda a cidade desde 2006. Além disso, novas aplicações em TI são direcionadas para melhorias na

mobilidade urbana e segurança. Com o objetivo de contribuir com a transformação digital em Campinas, foi criado o "Portal Campinas Inovadora", que divulga iniciativas, investimentos e projetos inovadores da cidade por meio de reportagens, entrevistas e pesquisas. O PECCI está impulsionando Campinas para se tornar uma cidade cada vez mais inteligente e inovadora (CONNECTED SMART CITIES, 2019; CAMPINAS, 2023).

O resumo das iniciativas observadas nas quatro cidades do Cluster 2 é demonstrado no quadro 6.

Quadro 6 – Resumo das iniciativas do Cluster 2

Eixo temático / Cidades	Curitiba/PR	São Paulo/SP	Belo Horizonte/MG	Campinas/SP
Mobilidade e Acessibilidade	Aplicativos / Tecnologias na frota / Software / Placas digitais / Semáforos inteligentes	GeoSampa / Bike SP / Semáforos inteligentes	COP-BH / Câmeras / Blockchain / BRT MOVE	Aplicativos / Semáforos Inteligentes / Câmeras / Georreferenciamento
Urbanismo	BIM / Parcerias / Placas digitais	SLC / GeoSampa	Fab City	Aplicativo / Iluminação inteligente
Meio Ambiente	x	Georreferenciamento	Georreferenciamento	PECCI / Centro de operações
Energia	x	x	x	x
Tecnologia e Inovação	CITS / Vale do Pinhão / Fab Lab / Worktiba / Wi-fi / Fibra óptica	SPTec / Prodam / Cursos TI / Wi-fi / PETIC / SPTEch / Fibra óptica	BH Cidade inteligente / Fibra óptica / Wi-fi / <i>Open Source</i> / IoT / BH-TEC / Hackathon	Polo de alta tecnologia / Fibra Óptica / Wi-fi / PECCI / Aplicativo
Saúde	Aplicativo / Sistema	x	x	x
Segurança	Drones	x	COP-BH / Câmeras	Câmeras / Sensores / Safecity / CIMCamp
Educação	CITS / Fab Lab	Cursos TI / SPTEch / Aplicativo	BH Lab / IoT / BH-TEC	Polo de alta tecnologia / Aplicativo
Empreendedorismo	CITS / Worktiba	SPTec / MEI / Cursos TI	BH Cidade inteligente / BH Lab / IoT / BH-TEC	Polo de alta tecnologia
Governança	Vale do Pinhão / Aplicativo / Encontros	Prodam / Aplicativo / PETIC	BH Cidade inteligente / Aplicativo / Blockchain / Fab City	Polo de alta tecnologia / Aplicativo / PECCI
Economia	Aplicativo / Worktiba / CITS	SPTec / Aplicativo	BH Cidade inteligente / BH-TEC	Polo de alta tecnologia

Fonte: O Autor (2023)

Por último, o Cluster 3: Ananindeua/PA (Norte), Serra/ES (Sudeste) e São Gonçalo/RJ (Sudeste).

Ananindeua/PA: é um município localizado na Região Metropolitana de Belém e é o segundo mais populoso do estado do Pará. Entretanto, ao conduzir o presente estudo, não foram identificadas iniciativas ou investimentos significativos em TI na cidade. Embora tenham sido realizadas algumas ações entre 2022 e 2023, essas não foram relevantes para os resultados

alcançados neste estudo. Portanto, a cidade ainda não possui um cenário consolidado em termos de avanços em TI e iniciativas para se tornar uma cidade inteligente.

Serra/ES: no município de Serra, estado do Espírito Santo, foram identificadas duas iniciativas relacionadas à TI. A primeira delas está no campo da educação, onde a Escola Silvio Egito Sobrinho utiliza *Chromebooks* para apoiar alunos e professores no processo de aprendizagem. Esses dispositivos têm sido usados para incentivar o interesse dos estudantes em disciplinas como matemática, através de inovação e plataformas digitais que promovem interação e aulas virtuais por meio do Google Sala de Aula. A segunda iniciativa é o Polo de Inovação Tecnológica da Serra, que foi estabelecido através de um decreto assinado pelo prefeito da cidade. Esse polo tem o nome de “InovaSerra” e oferece vantagens fiscais para empresas do setor tecnológico, visando incentivar a implantação de startups e empreendimentos inovadores na região. Com essa ação, o município busca atrair investimentos e promover o desenvolvimento tecnológico local (GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2019; SEERA, 2019).

São Gonçalo/RJ: por meio do programa "Cidades Empreendedoras", São Gonçalo implementou medidas tecnológicas, como um sistema de emissão de alvará de empresas, visando agilizar e facilitar o processo de abertura de empreendimentos, resultando em benefícios econômicos para a cidade. Além disso, o município investiu na área de educação com a construção de dois centros de ensino inovadores e a aquisição de um ônibus itinerante. Essas iniciativas buscam adotar abordagens e metodologias de ensino inovadoras, que utilizam tecnologia para estimular a prática tecno-científica e melhorar a aprendizagem dos alunos (SÃO GONÇALO, 2018).

No quadro 7, é apresentada uma síntese das iniciativas encontradas nas três cidades do Cluster 3.

Quadro 7 – Resumo das iniciativas do Cluster 3

Eixo temático / Cidades	Ananindeua/PA	Serra/ES	São Gonçalo/RJ
Mobilidade e Acessibilidade	x	x	x
Urbanismo	x	x	x
Meio Ambiente	x	x	x
Energia	x	x	x
Tecnologia e Inovação	x	InovaSerra	x
Saúde	x	x	x
Segurança	x	x	x
Educação	x	Salas virtuais / Chromebooks	Centros inovadores / Ônibus itinerante
Empreendedorismo	x	InovaSerra	Sistema
Governança	x	x	x
Economia	x	InovaSerra	Sistema

Fonte: O Autor (2023)

Por meio dos resultados apresentados, fica evidente que os clusters possuem diferenças com relação às iniciativas em TI, ou seja, as cidades que fazem parte dos três agrupamentos, expõem diferentes comportamentos quanto a infraestrutura, maturidade e quantidade de projetos relacionados a utilização das ferramentas da TI para cidades inteligentes. Em síntese, o Cluster 1 demonstra estar em um estágio recente de implementações, com infraestrutura primária e em processo de crescimento. O Cluster 2 apresenta a maior quantidade de iniciativas e há mais tempo, de projetos, planejamentos e infraestrutura entres os demais clusters, as cidades presentes nesse cluster geralmente lideram os rankings brasileiros de cidades inteligentes, a exemplo de Curitiba, Belo Horizonte e São Paulo. Por último, o Cluster 3 apresenta poucos projetos ou até nenhuma ação encontrada de implantações e incentivo em TI, as cidades presentes nesse cluster, parecem não priorizar o investimento e projetos que fazem uso da TI para o desenvolvimento urbano.

A constatação de que as cidades com maior quantidade de iniciativas em TI estão presentes no cluster com melhor desempenho sugere que essas iniciativas contribuem para o desenvolvimento de cidades mais inteligentes. Com isso, os desdobramentos indicam uma possível correlação entre os desempenhos obtidos por cada cluster nos eixos temáticos relacionados a cidades inteligentes e o uso das tecnologias, visto que, o Cluster 3 demonstra pior desempenho na maior parte dos eixos temáticos, o Cluster 2, o melhor e o Cluster 1 geralmente em níveis intermediários. Logo, essas diferentes características, com relação à utilização da TI, impactam no desenvolvimento desses municípios como cidades inteligentes.

Ao compreender como as cidades foram classificadas em clusters e quais iniciativas de TI estão sendo adotadas por cada cluster, os gestores podem direcionar seus esforços de maneira mais precisa. Por exemplo, aqueles que lidam com a gestão de uma cidade podem identificar as melhores práticas adotadas por municípios semelhantes no mesmo cluster e adaptá-las à sua realidade local. Os gestores podem utilizar esses insights para aprimorar serviços públicos, otimizar o uso de recursos e, em última instância, melhorar a qualidade de vida dos residentes. Além disso, a análise dos eixos temáticos, como segurança, saúde e educação, fornece aos gestores indicadores específicos para monitorar o desempenho de suas cidades em áreas críticas. Isso possibilita a alocação eficiente de recursos e a implementação de políticas direcionadas. Em um cenário de constante transformação urbana e avanços tecnológicos, os resultados desta pesquisa oferecem um guia para que os gestores tomem decisões informadas, promovendo o desenvolvimento inteligente de suas cidades.

Além disso, a diferença na maturidade da aplicação de TI entre as cidades brasileiras e os casos internacionais revelados na revisão sistemática é um destaque importante. Enquanto a literatura internacional destaca soluções tecnológicas avançadas e conjuntas para resolver desafios urbanos, as iniciativas de TI nas cidades brasileiras refletem um nível inferior de maturidade. Essa diferença é uma oportunidade significativa. Ela não apenas destaca os desafios locais, mas também aponta um caminho para o desenvolvimento das cidades. Como também, fornece uma base para benchmarking com as práticas internacionais, promovendo a aprendizagem mútua e adaptação de soluções às necessidades locais, o que é essencial para o avanço das cidades inteligentes no Brasil

5. *CONCLUSÕES*

O presente estudo fundamenta sua análise no modelo de clusterização, utilizando uma base de dados específica para o contexto brasileiro. Em vez de classificar cidades individualmente, o método permite entender os diversos contextos do cenário nacional e identificar grupos de cidades com padrões semelhantes, além de compreender os fatores que influenciam suas performances. Esse enfoque possibilita uma análise mais abrangente e contextualizada das características das cidades brasileiras em relação ao desenvolvimento como cidades inteligentes. Além disso, o tema das ferramentas de TI para cidades inteligentes é de grande importância no contexto atual, em que as cidades estão buscando soluções tecnológicas para enfrentar desafios urbanos e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Compreender o estado atual do conhecimento nessa área e analisar as iniciativas implementadas por diferentes cidades brasileiras pode fornecer insights valiosos para o desenvolvimento de políticas públicas e ações estratégicas voltadas para cidades inteligentes.

Nesse contexto, os resultados da RSL demonstram que há um maior interesse pelo assunto principalmente a partir do ano de 2020, momento em que houve um aumento significativo na quantidade de publicações, sugerindo uma tendência de crescimento nos próximos anos. Inclusive, foi observado que embora tenha sido identificado um aumento nas publicações, há ainda pouca contribuição acadêmica no que diz respeito a quantidade de estudos encontrados, principalmente quando se trata de estudos de casos. A RSL revelou ainda algumas tecnologias que são importantes aliadas para o contexto de gestão urbana em cidades inteligentes, incluindo entre elas, IoT, SI, BD e GIS.

Por intermédio das ferramentas da TI que são retratadas nas pesquisas que formam o conjunto de artigos da RSL, são verificados benefícios alcançados para o planejamento urbano. Entre os benefícios, cita-se a quantificação da utilização de energia, água e outros recursos como alimentos ou bens, permitindo por meio dessas informações que medidas sejam tomadas para reduzir significativamente as demandas. Como também, ganhos são observados na Mobilidade, a exemplo da implementação da medição de índices de desenvolvimento orientado para o trânsito, através da análise do comportamento de deslocamento dos moradores e de outros aspectos, promovendo aos tomadores de decisão orientações para um planejamento que contribua para o crescimento urbano sustentável. Dessa forma, através da aplicação dos recursos tecnológicos e métodos auxiliares nos setores urbanos, pode-se alcançar soluções urbanas baseadas em TI, que convergem para uma cidade inteligente, que avança em processos

otimizados e estruturados, planejamento eficaz e desenvolvimento urbano capazes de lidar com os desafios da urbanização.

Além disso, o presente trabalho objetivou a identificação de agrupamentos de cidades (Clusters) com mais de 500.000 habitantes, a fim de encontrar semelhanças entre elas através da ferramenta estatística de análise de cluster, pelo método *k-means*. Para isto, foram abordados diferentes eixos temáticos associados às cidades inteligentes: Mobilidade e Acessibilidade, Urbanismo, Meio Ambiente, Energia, Tecnologia e Inovação, Saúde, Segurança, Educação, Empreendedorismo, Governança e Economia. Dessa forma, foi possível identificar três clusters e suas condições favoráveis, potenciais e adversas das cidades analisadas para cada eixo temático. Os mecanismos de análise voltados para cidades inteligentes podem ser complementares, e a metodologia proposta neste estudo se destaca ao abranger as particularidades do contexto brasileiro. Essa abordagem leva em consideração as especificidades sociais, políticas e econômicas do país, as quais podem diferir dos padrões internacionais. Dessa forma, ao utilizar uma base de dados específica para o Brasil, o estudo proporciona uma análise mais adequada e contextualizada, contribuindo para a compreensão das características únicas e desafios enfrentados pelas cidades brasileiras em seu caminho rumo à inteligência urbana.

Foi realizado ainda um levantamento das principais iniciativas relacionadas à TI em algumas cidades de cada cluster, para identificação de possíveis diferenças entre elas no que diz respeito a utilização das ferramentas da TI para obtenção de melhores resultados. Esse resultado, junto com a análise dos clusters, revelam que as cidades possuem diferentes perfis, mesmo que localizadas na mesma região do país. Isso indica a necessidade de políticas públicas específicas que considerem as peculiaridades e necessidades de cada município, pois nem todas as cidades localizadas na mesma região do país evoluem no mesmo ambiente, bem como serve de alerta para os governos estaduais e federais para análise dessas discrepâncias a nível de estado e municípios. Visto que não foi possível identificar padrão relacionado ao tamanho e condições financeiras dos municípios, os resultados demonstram certa deficiência nas cidades do Cluster 3 na busca por soluções tecnológicas. Nesse sentido, as políticas federais e estaduais devem ser cautelosas para não generalizar a formulação de ações voltadas para cidades inteligentes, mas sim observar as diversidades de cada cidade para realização de um plano satisfatório.

Essa análise comparativa entre os clusters e as iniciativas voltadas para TI reforça a importância da TI no contexto das cidades inteligentes e como essas iniciativas podem influenciar o desempenho urbano. Ela pode fornecer insights valiosos sobre a relação entre o

investimento em TI e o progresso das cidades em direção à inteligência urbana. Pois, como abordado nos resultados, os clusters encontrados apresentam provável correlação entre os seus desempenhos nos eixos temáticos e iniciativas em TI implementadas.

Conquanto seja possível perceber o potencial que as cidades do Cluster 1 apresentam, por se encontrarem em processo de desenvolvimento, a infraestrutura básica dessas cidades como tratamento de esgoto e atendimento urbano de água e esgoto são questões que devem ser priorizadas pelos gestores públicos para que seja oferecido aos cidadãos qualidade vida e desenvolvimento no meio ambiente, que resulta em benefícios em outros eixos temáticos como Urbanismo e Saúde. As cidades do Cluster 3 também apresentam desempenhos inferiores nas questões associadas ao meio ambiente, além de se comportarem como dependentes da cidade grande mais próxima. São municípios que precisam de cuidado dos órgãos municipais, federais e estaduais, com o propósito de incentivar e aplicar políticas e recursos de TI para o desenvolvimento dessas cidades.

No processo de transformação digital dos centros urbanos, há grande importância na inclusão digital da população, para habituação com as ferramentas tecnológicas oferecidas como soluções de problemas. Uma vez que a presença da infraestrutura tecnológica nos serviços urbanos não será válida caso a população não consiga acessá-las ou não detenha de conhecimento para isso. O desenvolvimento de programas que estimulem a utilização por parte dos cidadãos dos recursos tecnológicos já disponíveis, através de premiações, suporte e treinamentos para alfabetização tecnológica são exemplos de possíveis modelos práticos para a inclusão digital.

Além dos pontos citados anteriormente, os resultados do estudo servem ainda para:

1. Compreender o potencial decorrente da utilização eficaz das ferramentas da TI no desenvolvimento geral de um município, como maior competitividade e novas oportunidades de negócios, impactando na possibilidade de uma cidade ser considerada inteligente a partir dos seus resultados. Bem como, a compreensão de que a negligência na utilização dessas iniciativas desdobra em vários problemas para uma cidade;
2. Colaborar como uma ferramenta complementar no processo decisório dos planejadores e entidades da administração pública e privada, durante a procura por métodos e estratégias de desenvolvimento relacionados ao tema abordado;
3. Analisar os desempenhos das cidades de um mesmo cluster em cada eixo temático, de forma que a cidade com melhor performance em um determinado indicador ou eixo temático, possa servir de referência para as demais através da verificação das práticas adotadas que podem ser implementadas nas cidades com desempenho inferior no mesmo ponto. Além da evidenciação

das iniciativas em TI desenvolvidas pelas cidades, oferecendo a possibilidade de benchmarking a outras cidades;

4. Contribuir para redução da lacuna encontrada na literatura e fornecer direcionamentos fundamentais a pesquisadores e estudiosos do assunto sobre o panorama acerca da temática da tratativa. Essas contribuições podem ter impacto tanto no âmbito acadêmico, ao expandir o conhecimento sobre o tema e fornecer insights para futuras pesquisas, quanto no âmbito prático, ao orientar políticas e ações voltadas para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Durante a execução do trabalho foram encontradas algumas limitações, como a dificuldade em reunir dados detalhados de algumas cidades e indicadores trabalhados, limitando a quantidade de cidades e indicadores utilizados para análise. Além disso, os dados extraídos pela fonte dos indicadores podem não contemplar todas as variáveis que definam a situação das cidades inteligentes.

Existem algumas possibilidades de trabalhos futuros a partir dos resultados obtidos neste trabalho. É possível realizar um maior aprofundamento em cada eixo temático e indicador presente a fim de alcançar análises mais específicas das cidades sobre o tema desejado. A metodologia utilizada pode ser adaptada para aplicação em outras cidades e países que apresentem contextos semelhantes ao Brasil. Além disso, o estudo pode ser expandido para outras cidades com menores quantidades de habitantes, bem como reduzido a nível de estado para análise do comportamento e identificação de novos modelos. Referente à ferramenta estatística usada, o algoritmo *k-means* é uma das técnicas disponíveis de *machine learning*, trabalhos futuros podem utilizar outros métodos e realizar um comparativo entre os resultados, assim como há possibilidade de incremento de outros métodos estatísticos que enriqueçam o estudo.

REFERÊNCIAS

AFONSO, R. A. et al. Brazilian smart cities: Using a maturity model to measure and compare inequality in cities. *ACM International Conference Proceeding Series*, 230–238, 2015.

AHVENNIEMI, H. et al. What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, v. 60, p. 234–245, 1 fev. 2017.

ALI, M. A. Smart city policy in developing countries: Case study of the new administrative capital in Egypt. *Journal of Public Affairs*, v. 22, p. e2774, 2021.

AMITRANO, C. C.; ALFANO, A.; BIFULCO, F. Smart cities at the forefront: the development of greenfield cities. *Journal of Economy, Business and Financing*, Vol. 2 No. 2, p. 58-66, 2014.

ARACAJÚ. *Começa a matrícula online na rede municipal de Aracaju*. Aracaju Prefeitura. 2018. Disponível em: <https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/75782/>. Acesso em: 16 mai. 2023.

ARACAJÚ. *Edvaldo e presidente do TJ/SE assinam termo de compartilhamento da fibra ótica em Aracaju*. Aracaju Prefeitura. 2018. Disponível em: https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/75378/edvaldo_e_presidente_do_tj/se_assinam_termo_de_compartilhamento_da_fibra_otica_em_aracaju.html. Acesso em: 16 mai. 2023.

ARACAJÚ. *Prefeitura de Aracaju é uma das primeiras do Brasil a implantar plataforma sobre Cidades Inteligentes*. Aracaju Prefeitura. 2020. Disponível em: https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/85256/prefeitura_de_aracaju_e_uma_das_primeiras_do_brasil_a_implantar_plataforma_sobre_cidades_inteligentes.html. Acesso em: 17 mai. 2023.

ARACAJÚ. *Prefeitura garante internet de alto desempenho nas escolas municipais*. Aracaju Prefeitura. 2020. Disponível em: https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/85725/prefeitura_garante_internet_de_alto_desempenho_nas_escolas_municipais.html. Acesso em: 16 mai. 2023.

ARACAJÚ. *Programa Aracaju Inteligente, Humana e Criativa é apresentado para Câmara de TI da Fecomércio e Fórum Empresarial*. Aracaju Prefeitura. 2017. Disponível em: https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/73380/programa_aracaju_inteligente,_humana_e_criativa_e_apresentado_para_camara_de_ti_da_fecomercio_e_forum_empresarial.html. Acesso em: 16 mai. 2023.

ARAÚJO, M. *Métodos de Clustering em aprendizado de máquinas não supervisionado*. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2021. Monografia (Bacharelem Estatística) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PROMOTORAS DE EMPREENDIMIENTOS INOVADORES (ANPROTEC). *Primeira etapa do Parque Tecnológico da Bahia é concluída*. 2022. Disponível em: <https://anprotec.org.br/site/2012/09/primeira-etapa-do-parque-tecnologico-da-bahia-e-concluida/>. Acesso em: 15 fev. 2022.

BACKHOUSE, J. A taxonomy of measures for smart cities. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance (ICEGOV 2020)*, Athens, Greece, p.11, 23-25 September 2020.

BAHIA JORNAL. *Iniciativas fomentam tecnologia e inovação no Nordeste*. 2021. Disponível em: <https://www.bahiajornal.com.br/noticia/25431/iniciativas-fomentam-tecnologia-e-inovacao-no-nordeste>. Acesso em: 10 mai. 2023.

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.

BELO HORIZONTE. *Belo Horizonte Cidade Inteligente*. 2018. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/cidade-inteligente>. Acesso em: 28 mai. 2023.

BELO HORIZONTE. Belo Horizonte Surpreendente. *Cidade Inteligente*. 2019. Disponível em: <http://portalbelohorizonte.com.br/negocios/cidade-inteligente>. Acesso em: 28 mai. 2023.

BELO HORIZONTE. *Centro Integrado de Operações de Belo Horizonte*. 2018. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/seguranca/copbh>. Acesso em: 28 mai. 2023.

BENAMROU, B. et al. Ranking models of smart cities. Colloquium in Information Science and Technology, CIST. Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2 jul. 2016.

BÍBLIA, N. T. Romanos. In: *Bíblia Sagrada*. Almeida Revista e Atualizada. 3ª Edição. São Paulo - SP: Editora NVI, 2023.

BIBRI, S. E.; KROGSTIE, J. Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, v. 31, p. 183-212, 1 maio 2017.

BIFULCO, F.; TREGUA, M.; AMITRANO, C.C.; AND D'AURIA, A. ICT and sustainability in smart cities management. *International Journal of Public Sector Management*, Vol. 29 No. 2, p. 132-147. 2016.

BOCK, H. Clustering methods: a history of k-means algorithms. *Selected contributions in data analysis and classification*, p. 161-172, 2007.

BRASIL. *Carta Brasileira para Cidades Inteligentes*. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes/CartaBrasileiraparaCidadesInteligentes2.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2023.

CAMBOIM, G. F.; ZAWISLAK, P. A.; PUFAL, N. A. Driving elements to make cities smarter: Evidences from European projects. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 142, p. 154–167, 1 maio 2019.

CAMERO, A.; ALBA, E. Smart City and information technology: A review. *Cities*, v. 93, p. 84–94, 1 out. 2019.

CAMPINAS. *Campinas poderá integrar projeto de cidade-inteligente*. 2012. Disponível em: <https://portal.campinas.sp.gov.br/noticia/16555>. Acesso em: 30 mai. 2023.

CAMPINAS. Portal Campinas Inovadora. *Sobre o Portal Campinas Inovadora*. 2023. Disponível em: <https://portalcampinasinovadora.com.br/sobre/>. Acesso em: 31 mai. 2023.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico, Social e de Turismo. *Planejamento Estratégico Campinas Cidade Inteligente 2019-2029*, 2019.

CASSIANO, K. M. *Análise de Séries Temporais Usando Análise Espectral Singular (SSA) e Clusterização de Suas Componentes Baseada em Densidade*. Rio de Janeiro, 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEN). *Campinas Tecnológica – A Silicon Valley Brasileira*. 2015. Disponível em: <https://cnpem.br/campinas-tecnologica-a-silicon-valley-brasileira/>. Acesso em: 27 mai. 2023.

CHANG, D. L. et al. Knowledge-based, smart and sustainable cities: A provocation for a conceptual framework. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, v. 4, n. 1, 13 fev. 2018.

CHANG, D. L. et al. Knowledge-based, smart and sustainable cities: A provocation for a conceptual framework. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, v. 4, n. 1, p. 5, 2018.

COCCHIA, A. Smart and digital city: A systematic literature review. *Smart city: How to create public and economic value with high technology in urban space*, p. 13-43, 2014.

COLDING, J.; BARTHEL, S. An urban ecology critique on the “Smart City” model. *Journal of Cleaner Production*, v. 164, p. 95-101, 2017.

CONNECTED SMART CITIES. *Prefeito de campinas destaca as ações do CSC no desenvolvimento da cidade*. 2019. Disponível em: <https://portal.connectedsmartcities.com.br/2019/09/18/prefeito-de-campinas-destaca-as-acoes-do-connected-smart-cities-no-desenvolvimento-da-cidade/>. Acesso em: 30 mai. 2023.

CONNECTED SMART CITIES. *Ranking Connected Smart Cities: O Desenvolvimento de CT&I na cidade de Campinas*. 2020. Disponível em: <https://portal.connectedsmartcities.com.br/2020/05/29/ranking-connected-smart-cities-o-desenvolvimento-de-cti-na-cidade-de-campinas/>. Acesso em: 30 mai. 2023.

CONSELHO NACIONAL DAS FUNDAÇÕES ESTADUAIS DE AMPARO À PESQUISA (CONFAP). *Iniciativas das décadas de 80 e 90 foram cruciais para o avanço no setor de tecnologia do Paraná*. 2020. Disponível em: <https://confap.org.br/news/iniciativas-das-decadas-de-80-e-90-foram-cruciais-para-o-avanco-no-setor-de-tecnologia-do-parana/>. Acesso em: 19 mai. 2023.

COSTA, J. C. Stakeholders e as smart cities. Nove de Julho, 2020. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) – Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2021.

CURITIBA. Agilidade - *Uso da tecnologia amplia capacidade de atendimento do Hospital do Idoso*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/uso-da-tecnologia-amplia-capacidade-de-atendimento-do-hospital-do-idoso/54135>. Acesso em: 20 mai. 2023.

CURITIBA. Cidades Inteligentes - *Prefeitura e MIT iniciam parceria pela inovação*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/prefeitura-e-mit-iniciam-parceria-pela-inovacao/52783>. Acesso em: 20 mai. 2023.

CURITIBA. Do analógico ao digital - *Software vai programar itinerários e horários do transporte coletivo*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/software-vai-programar-itinerarios-e-horarios-do-transporte-coletivo/49694>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CURITIBA. Inovação - *Ippuc investe em tecnologia BIM para aprimorar projetos do setor público*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/ippuc-investe-em-tecnologia-bim-para-aprimorar-projetos-do-setor-publico/49977>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CURITIBA. InvestCuritiba. *Curitiba em dados - Tecnologia*. 2023. Disponível em: <http://investcuritiba.com.br/por-que-curitiba/tecnologia/>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CURITIBA. Rede Integrada - *Acidentes no transporte de Curitiba têm queda de 25% desde 2016*. 2020. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/acidentes-no-transporte-de-curitiba-tem-queda-de-25-desde-2016/55023>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CURITIBA. Regional Cajuru - *Drones auxiliam em simulados de emergência em escolas*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/drones-auxiliam-em-simulados-de-emergencia-em-escolas/53329>. Acesso em: 20 mai. 2023.

CURITIBA. Sinalização urbana - *Placas de rua terão estrutura para tecnologia e identificação das regionais*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/placas-de-rua-terao-estrutura-para-tecnologia-e-identificacao-das-regionais/52308>. Acesso em: 20 mai. 2023.

CURITIBA. Smart City Expo - *Aplicativo vai facilitar acesso às informações do Nota Curitibana pelo celular*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/aplicativo-vai-facilitar-acesso-as-informacoes-do-nota-curitibana-pelo-celular/49701>. Acesso em: 20 mai. 2023.

CURITIBA. Smart City Expo - *Mobilidade urbana em Curitiba entra na era digital com novas tecnologias*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/mobilidade-urbana-em-curitiba-entra-na-era-digital-com-novas-tecnologias/49697>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CURITIBA. Transporte coletivo - *Frota já conta com 337 novos ônibus e ganha mais tecnologia*. 2020. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/frota-ja-Conta-com-337-novos-onibus-e-ganha-mais-tecnologia/54566>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CURITIBA. Vale do Pinhão - *Prefeitura cria rotina de reuniões com startups para promover a inovação*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/prefeitura-cria-rotina-de-reunioes-com-startups-para-promover-a-inovacao/51457>. Acesso em: 20 mai. 2023.

CURITIBA. World Smart City Awards 2019 - *Vale do Pinhão põe Curitiba entre as 6 cidades mais inteligentes do mundo*. 2019. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/vale-do-pinhao-poe-curitiba-entre-as-6-cidades-mais-inteligentes-do-mundo/53796>. Acesso em: 19 mai. 2023.

DADOS ABERTOS PERNAMBUCO. *Aplicativos de soluções urbanas*. Pernambuco transparente. 2020. Disponível em: <https://www.dadosabertospernambuco.com.br/aplicativos>. Acesso em: 15 mai. 2023.

DAMERI, R. P. et al. Understanding smart cities as a glocal strategy: A comparison between Italy and China. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 142, p. 26–41, 1 maio 2019.

DE JONG, M. et al. Sustainable-smart-resilient-low carbon-eco-knowledge cities; Making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. *Journal of Cleaner Production*, v. 109, p. 25–38, 16 dez. 2015.

DHALMAHAPATRA, K. et al. Decision support system for safety improvement: An approach using multiple correspondence analysis, t-SNE algorithm and K-means clustering. *Computers and Industrial Engineering*, v. 128, p. 277–289, 1 fev. 2019.

DIRKS, S.; KEELING, M.; DENCİK, J. How smart is your city?: Helping cities measure progress. *IBM Institute for Business Value, IBM Global Business Services, New York*, 2009.

DODMAN, D. Environment and Urbanization, *In International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*. 1–9. 2017.

DOOST MOHAMMADIAN, H.; REZAIE, F. I-sustainability plus theory as an innovative path towards sustainable world founded on blue-green ubiquitous cities case studies: Denmark and south korea. *Inventions*, v. 5, n. 2, p. 14, 1 jun. 2020.

DUARTE, F. et al. A Conceptual Framework for Assessing Digital Cities and the Brazilian Index of Digital Cities: Analysis of Curitiba, the First-Ranked City. *Journal of Urban Technology*, v. 21, n. 3, p. 37–48, 1 jul. 2014.

EICKER, U. et al. On the design of an urban data and modeling platform and its application to urban district analyses. *Energy and Buildings*, v. 217, p. 109954, 2020.

F5 NEWS. Sergipe Atualizado. *Prefeitura de Aracaju disponibiliza wifi gratuito no Parque da Sementeira*. 2020. Disponível em: <https://www.f5news.com.br/cotidiano/prefeitura-de-aracaju-disponibiliza-wifi-gratuito-no-parque-da-sementeira.html>. Acesso em: 17 mai. 2023.

FAROL NEWS. *Prefeitura apresenta benefícios do Salvador 360 no Connected Smart Cities*. 2018. Disponível em: <https://farolnews.com.br/prefeitura-apresenta-beneficios-do-salvador-360-no-connected-smart-cities/>. Acesso em: 10 mai. 2023.

FELIPE, A. S. et al. A importância do planejamento urbano para o desenvolvimento sustentável: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 9, n. 2, p. 171–191, ago. 2020.

FONSECA, R. C. V. *Metodologia do trabalho científico*. 1. ed. Curitiba: IESDE Brasil, 2012.

FORTALEZA. *Fortaleza 2040*. 2023. Disponível em: <https://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/site/>. Acesso em: 12 mai. 2023.

FORTALEZA. Fortaleza Digital. *O que é? Fortaleza Digital*. SEPOG - Secretaria do Planejamento, Orçamento e Gestão. Fortaleza Prefeitura. 2023. Disponível em:

<https://fortalezadigital.fortaleza.ce.gov.br/ords/fortaleza-digital/r/portal/o-que-e-o-fortaleza-digital?session=67482880471>. Acesso em: 12 mai. 2023.

FORTALEZA. *Prefeitura de Fortaleza desenvolve projetos de tecnologia para aprimorar serviços da Capital*. 2020. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-desenvolve-projetos-de-tecnologia-para-aprimorar-servicos-da-capital>. Acesso em: 12 mai. 2023.

FORTALEZA. *Rede semafórica cresce 59,4% ampliando a segurança viária para vários bairros da Cidade*. 2019. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/rede-semaforica-cresce-59-4-em-fortaleza-ampliando-a-seguranca-viaria-para-varios-bairros-da-cidade>. Acesso em: 12 mai. 2023.

FORTALEZA. *Relatório do Plano Fortaleza 2040: 2017-2020*. Prefeitura Municipal de Fortaleza. Fortaleza: IPLANFOR, 2020.

GARCÍA-FUENTES, M. et al. European Cities Characterization as Basis towards the Replication of a Smart and Sustainable Urban Regeneration Model. *Energy Procedia*, v. 111, p. 836-845, 2017.

GAZETA DO POVO. *Como Curitiba virou celeiro de inovação e cidade de futuros unicórnios no Brasil*. 2020. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/gazz-conecta/inovacao-curitiba-cidade-dos-futuros-unicornios/>. Acesso em: 19 mai. 2023.

GIBSON, D. V.; KOZMETSKY, G.; SMILOR, R. W. The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems. *Global Networks*, v. 38, n. 2, p. 756-767, 1992.

GIFFINGER, R. et al. *Smart cities: Ranking of european medium-sized cities*. Final Report. 2007.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: https://professores.faccat.br/moodle/pluginfile.php/13410/mod_resource/content/1/como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: <https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todose-tc3a9nicas-de-pesquisa-social.pdf>. Acesso em: 19 set. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Fortaleza. *Plano Estratégico de Tecnologia da Informação do Estado do Ceará (PETIC)*. 2018. Disponível em: <https://www.seplag.ce.gov.br/governancatic/planejamento-estrategico-de-tic/>. Acesso em 27 mai. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Secretaria da Educação (SEDU). *Tecnologia dinamiza aula de matemática em escola de Serra*. 2019. Disponível em: <https://sedu.es.gov.br/Not%C3%ADcia/tecnologia-dinamiza-aula-de-matematica-em-escola-de-serra>. Acesso em: 31 mai. 2023.

GUELZIM, T.; OBAIDAT, M. S.; SADOON, B. Introduction and overview of key enabling technologies for smart cities and homes. In *Smart Cities and Homes: Key Enabling Technologies*, p. 1–16, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *População brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões de habitantes, aponta censo 2022*. IBGE, 2023. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/materias-especiais/21972-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes-de-habitantes-aponta-censo-2022.html>. Acesso em: 21 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *REGIC - Regiões de Influência das Cidades 2018*. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/redes-e-fluxos-geograficos/15798-regioes-de-influencia-das-cidades.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 15 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Regiões de influência das cidades: 2018*. IBGE, Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro: IBGE, 2020. p. 192. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101728>. Acesso em: 15 fev. 2022.

KASSAMBARA, A. *Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning*. 1. ed. Sthda, 2017.

KESHAVARZI, G.; YILDIRIM, Y.; AREFI, M. Does scale matter? An overview of the “smart cities” literature. *Sustainable Cities and Society*, v. 74, p. 103151, 2021.

KHARE, R. et al. Measurement of transit-oriented development (TOD) using GIS technique: a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 14, p. 1-16, 2021.

KUBINA, M.; ŠULYOVÁ, D.; VODÁK, J. Comparison of smart city standards, implementation and cluster models of cities in North America and Europe. *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 6, 2 mar. 2021.

LAW, K. H.; LYNCH, J. P. Smart City: Technologies and Challenges. *IT Professional*, v. 21, n. 6, p. 46–51, 1 nov. 2019.

LAZZARETTI, K. et al. Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11, 2019.

LIMA, S. M. S. A.; LOPES, W. G. R.; FAÇANHA, A. C. Urban planning challenges in the expansion of cities: Between plans and reality. *Urbe*, v. 11, 2019.

LIN, F. K. *A Promessa das Smart Cities: Possibilidades e Limitações para o Planejamento Urbano*. São Bernardo do Campo, 2018. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Gestão do Território, Universidade Federal do ABC, São Paulo, 2018.

MA, Q. et al. Measuring functional urban shrinkage with multi-source geospatial big data: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei Megaregion. *Remote Sensing*, v. 12, n. 16, p. 2513, 2020.

MACAYA, J.; RIBEIRO, M.; OYADOMARI, W. Governo eletrônico e os caminhos para as cidades inteligentes: Diferenças e desigualdades na adoção e no uso das TIC por prefeituras no Brasil. In: *TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA GESTÃO URBANA: desafios para a medição de cidades inteligentes*. Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR. 1. ed. São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2020. p.45-74.

- MACQUEEN, J. et al. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*. 1967. p. 281-297.
- MARCHETTI, D.; OLIVEIRA, R.; FIGUEIRA, A. R. Are global north smart city models capable to assess Latin American cities? A model and indicators for a new context. *Cities*, v. 92, p. 197–207, 1 set. 2019.
- MARICATO, E. Na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras. In: *Brasil, Cidades: Alternativas para a crise urbana*. São Paulo: Editora Vozes, 2001. p.15-17.
- MARTINS, P. L. et al. Tecnologia e sistemas de informação e suas influências na gestão e contabilidade. *IX SEGeT - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 2012.
- MELO, H. C.; DANTAS, H. S.; CAMARGO, P. L. T. Analysis of ISO 37120 indicators for small municipalities in Brazil: A case study in piunhi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Anais...IOP Publishing Ltd, 20 nov. 2020.
- MENESES, V. *Participação na era da informação: uma análise do uso das TICs nos processos participativos*. Fortaleza, 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo e Design) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2017.
- MENGIST, Wondimagegn; SOROMESSA, Teshome; LEGESE, Gudina. Ecosystem services research in mountainous regions: A systematic literature review on current knowledge and research gaps. *Science of the Total Environment*, v. 702, p. 134581, 2020.
- MIDOR, K.; PŁAZA, G. Moving to Smart Cities Through the Standard Indicators ISO 37120. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, v. 3, n. 1, p. 617–630, 1 set. 2020.
- MIRANDA, J. M. *Um estudo sobre tecnologias para cidades inteligentes e internet das coisas*. Itacoatiara, 2020. Monografia (Bacharel em Sistemas de Informação) - Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas 2020.
- MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of internal medicine*, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.
- MONTEIRO, C. S. et al. An urban building database (UBD) supporting a smart city information system. *Energy and Buildings*, v. 158, p. 244-260, 2018.
- MORA, L.; BOLICI, R.; DEAKIN, M. The First Two Decades of Smart-City Research: A Bibliometric Analysis. *Journal of Urban Technology*, v. 24, n. 1, p. 3–27, 2 jan. 2017.
- MORISSETTE, L.; CHARTIER, S. The k-means clustering technique: General considerations and implementation in Mathematica. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, v. 9(1), p. 15-24, 2013.
- NASRAWI, S. A. AL; ADAMS, C.; EL-ZAART, A. A Conceptual Multidimensional Model for Assessing Smart Sustainable Cities. *Journal of Information Systems and Technology Management*, v. 12, n. 3, 1 jan. 2016.

NEGRE, E.; ROSENTHAL-SABROUX, C.; GASCO, M. A knowledge-based conceptual vision of the smart city. In: *2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, HI, USA, 2015. p. 2317-2325.

NEVADO PEÑA, D.; ALFARO NAVARRO, J. L.; LÓPEZ RUIZ, V. R. Konkurentnost intelektualnog kapitala gradova pokrajine Castilla-La Mancha u usporedbi s drugim španjolskim gradovima. *Drustvena Istrazivanja*, v. 26, n. 4, p. 519–538, 1 dez. 2017.

OLIVEIRA, J. R. *Cidades Inteligentes e Sustentáveis: avaliação multidimensional de capitais brasileiras utilizando o método FITradeoff*. Recife, 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2020.

ONLINE APPLICATIONS. It Global Services Consultoria em Sistemas de Informática. *Polo tecnológico brasileiro: conheça a cidade de Campinas, São Paulo*. 2021. Disponível em: <https://www.onlineapp.com.br/blog/campinas-polo-tecnologico/#:~:text=Campinas%20tamb%C3%A9m%20%C3%A9%20conhecida%20por,bio tecnologia%2C%20telecomunica%C3%A7%C3%B5es%20e%20entre%20outros>. Acesso em: 28 mai. 2023.

PASE, F. et al. Bike sharing and urban mobility in a post-pandemic world. *Ieee Access*, v. 8, p. 187291-187306, 2020.

PIEKAS, A. A. S. et al. Legal aspects and perceptions on strategies for smart and creative cities: Study of the municipality of Chapecó (SC). *Urbe*, v. 10, p. 197–211, 2018.

PIÉROLA, L. G.; DE ALMEIDA, P. S. Cidade sustentável: análise das delimitações de ocupação do solo, novo plano diretor estratégico (lei nº 16.050/2014) e minuta participativa do projeto de lei de uso e ocupação do solo 2014 da cidade de São Paulo. *Revista de direito da cidade*, v. 8, n. 1, 11 fev. 2016.

POMÁZI, I. OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction. *Hungarian Geographical Bulletin*, v. 61, n. 4, p. 343-345, 2012.

PRAHARAJ, S.; HAN, H. Building a typology of the 100 smart cities in India. *Smart and Sustainable Built Environment*, Vol. 8 No. 5, p. 400-414, 2019.

RATHORE, M. M. et al. Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics. *Computer Networks*, v. 101, p. 63–80, 4 jun. 2016.

RATTNER, H. Contrastes regionais no desenvolvimento econômico brasileiro. *Revista de Administração de Empresas*, v. 4, p. 133-166, 1964.

RECIFE. CTTU – Autarquia de Trânsito e Transporte do Recife. *Zona Azul*. 2023. Disponível em: <https://cttu.recife.pe.gov.br/zona-azul>. Acesso em: 16 mai. 2023.

RECIFE. Empresa Municipal de Informática - EMPREL. *Hacker Cidadão – 7.0*. Recife Prefeitura. 2019. Disponível em: <http://hackercidadao.rec.br/7.0/>. Acesso em: 15 mai. 2023.

RECIFE. Notícias. *PCR disponibiliza rede de wifi gratuita em 74 pontos do Recife*. 2014. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/noticias/26/11/2014/pcr-disponibiliza-rede-de-wifi-gratuita-em-74-pontos-do-recife>. Acesso em: 15 mai. 2023.

RECIFE. Serviços para o cidadão. *App Conecta Recife*. 2023. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/servico/app-conecta-recife>. Acesso em: 15 mai. 2023.

REICHENHEIM, V. A. G. *Tecnologias de informação e comunicação (TICS) na gestão da cidade: reflexões e perspectivas*. Rio de Janeiro, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Política e Planejamento Urbano) - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

RIBEIRO, Tarcyla Fidalgo. O planejamento urbano como instrumento garantidor do direito a cidade. *Revista de Direito da Cidade*, v. 4, n. 1, p. 71-90, 2012.

RUBIO, H.; COSTA, J.; MARQUES, D. *Otimização de parâmetros de krigagem baseada na minimização do erro absoluto e o erro quadrático*. Porto Alegre, 2018. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2018.

SALVADOR. TRANSALVADOR - Superintendência de Trânsito de Salvador. *Núcleo de Operação Assistida (NOA)*. 2022. Disponível em: <http://transalvador.salvador.ba.gov.br/index.php/cidadao/nucleo-de-operacao-assistida-noa>. Acesso em: 10 mai. 2023.

SALVADOR. TRANSALVADOR – Superintendência de Trânsito de Salvador. *Novos semáforos inteligentes começam a funcionar em Salvador*. 2021. Disponível em: [http://transalvador.salvador.ba.gov.br/index.php/imprensa/releases/722-novos-semaforos-inteligentes-comecam-a-funcionaremsalvador#:~:text=Demais%20locais%20%E2%80%93%20sem%C3%A1foros%20inteligentes,Iguatemi%20Paralela%20\(LIP\)](http://transalvador.salvador.ba.gov.br/index.php/imprensa/releases/722-novos-semaforos-inteligentes-comecam-a-funcionaremsalvador#:~:text=Demais%20locais%20%E2%80%93%20sem%C3%A1foros%20inteligentes,Iguatemi%20Paralela%20(LIP)). Acesso em: 10 mai. 2023.

SANTOS, A. M. S. P. Planejamento urbano: para quê e para quem?. *Revista de Direito da Cidade*, v. 4, n. 1, 20 jun. 2012.

SÃO GONÇALO. *São Gonçalo discute informatização de sistema municipal*. 2018. Disponível em: <https://www.saogoncalo.rj.gov.br/sao-goncalo-discute-informatizacao-de-sistema-municipal/>. Acesso em: 31 mai. 2023.

SÃO GONÇALO. *São Gonçalo mostra projeto inovador em encontro internacional de educadores*. 2018. Disponível em: <https://www.saogoncalo.rj.gov.br/sao-goncalo-mostra-projeto-inovador-em-encontro-internacional-de-educadores/>. Acesso em: 31 mai. 2023.

SÃO PAULO. Centro de Mídias da Educação de São Paulo. *Aplicativo do Centro de Mídias SP será unificado para todos os ciclos*. 2021. Disponível em: <https://centrodemidiasp.educacao.sp.gov.br/aplicativo-do-centro-de-midias-sp-sera-unificado-para-todos-os-ciclos/>. Acesso em: 25 mai. 2023.

SÃO PAULO. *Conheça o sistema paulista de parques tecnológicos*. 2023. Disponível em: <https://www.desenvolvimentoeconomico.sp.gov.br/conheca-o-sistema-paulista-de-parques-tecnologicos/>. Acesso em: 25 mai. 2023.

SÃO PAULO. *Governo de SP oferece 52 mil vagas em cursos online de tecnologia da informação do programa SP Tech*. 2023. Disponível em: <https://www.desenvolvimentoeconomico.sp.gov.br/governo-de-sp-oferece-52-mil-vagas-em-cursos-online-de-tecnologia-da-informacao-do-programa-sp-tech/>. Acesso em: 26 mai. 2023.

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo - Gestão. Tecnologia da Informação e Comunicação - PRODAM. *Relatório de Gestão 2013 - 2016*, 2013.

SÃO PAULO. PRODAM - Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Município de São Paulo. *História*. 2020. Disponível em: https://portal.prodam.sp.gov.br/sobre_nos/historia/. Acesso em: 25 mai. 2023.

SÃO PAULO. PRODAM - Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Município de São Paulo. *Ações e evolução de uma empresa com mais de 40 anos de experiência (2009-2012)*. 2020. Disponível em: https://portal.prodam.sp.gov.br/sobre_nos/acoes-e-evolucao-de-uma-empresa-com-mais-de-40-anos-de-experiencia-2009-2012/. Acesso em: 25 mai. 2023.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Inovação e Tecnologia. *Tecnologia Cidade de São Paulo. Plano Estratégico de Tecnologia da Informação e Comunicação (PETIC)*. 2023. Disponível em: https://tecnologia.prefeitura.sp.gov.br/?page_id=3366. Acesso em: 27 mai. 2023.

SÃO PAULO. *SP lança o “Meu Emprego Vaga Certa” para facilitar contratação de cidadãos*. 2020. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/governo-de-sao-paulo-atualiza-informacoes-sobre-o-combate-ao-coronavirus-5/>. Acesso em: 26 mai. 2023.

SARDENBERG, T.; MAIA, H. Tecnologia da informação e comunicação e tecnologia assistiva: aproximações e distanciamentos. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, p. 3072–3085, 30 dez. 2021.

SERRA. *Serra ganha polo de inovação e anuncia 200 novas empresas*. 2019. Disponível em: <http://www.serra.es.gov.br/noticias/serra-ganha-polo-de-inovacao-e-anuncia-200-novas-empresas>. Acesso em: 31 mai. 2023.

SHARIFI, A. Typology of smart city assessment tools and indicator sets. *Sustainable Cities and Society*, v. 53, 1 fev. 2020.

SOUZA, D. A. et al. Análise do uso da tecnologia nos processos de recursos humanos: estudo de caso em uma universidade privada. *XIV SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 2017.

STRATIGEA, A.; PAPADOPOULOU, C. A.; PANAGIOTOPOULOU, M. Tools and Technologies for Planning the Development of Smart Cities. *Journal of Urban Technology*, v. 22, n. 2, p. 43–62, 3 abr. 2015.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. *Itajubá: Unifei*, v. 50, p. 669-676, 2012.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. New York: United Nations, 2015.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. *CPGEI 20 anos*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Curitiba Edição comemorativa. Curitiba: UTFPR. 2010.

URBAN SYSTEMS. *Ranking Connected Smart Cities*. São Paulo: Urban Systems. 2020. Disponível em: ranking.connectedsmartcities.com.br. Acesso em: 08 fev. 2022.

VIA ESTAÇÃO CONHECIMENTO. *Salvador tem iniciativa de internet wi-fi gratuita!*. 2016. Disponível em: <https://via.ufsc.br/salvador-tem-iniciativa-de-internet-wi-fi-gratuita/>. Acesso em: 10 mai. 2023.

VOIPY TECNOLOGIA. *Prefeitura de aracaju lança portal e aplicativo para acesso aos serviços de saúde*. 2020. Disponível em: <https://www.voipytecnologia.com.br/prefeitura-de-aracaju-lanca-portal-e-aplicativo-para-acesso-aos-servicos-de-saude/>. Acesso em: 17 mai. 2023.

WAHAB, N. S. N. et al. A Systematic Literature Review on the Dimensions of Smart Cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 498. 2020.

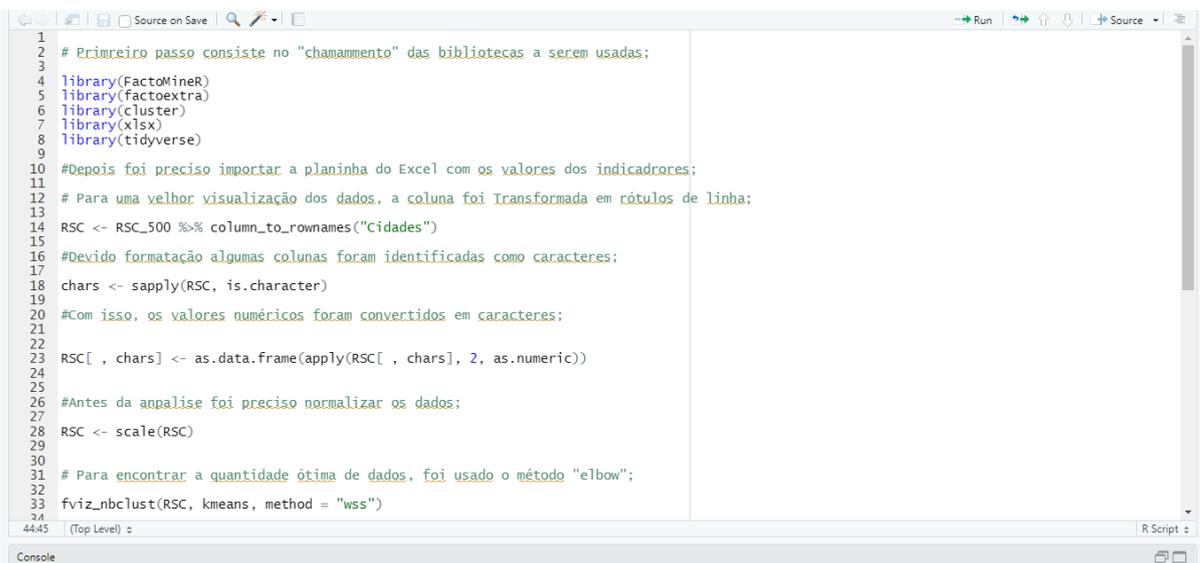
WEI, Y.; HUANG, C.; LI, J.; XIE, L. An evaluation model for urban carrying capacity: A case study of China's mega-cities. *Habitat International*, 53, 87–96, 2016.

YIGITCANLAR, T. et al. Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. *Sustainable cities and society*, v. 45, p. 348-365, 2019.

ZHENG, Y. et al. Urban computing: Concepts, methodologies, and applications. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, v. 5, n. 3, 18 set. 2014.

APÊNDICE A – CÓDIGO R UTILIZADO PARA RODAR O ALGORITMO

Figura 8 – 1ª parte do código R utilizado



```

1
2 # Primeiro passo consiste no "chamamento" das bibliotecas a serem usadas;
3
4 library(FactoMineR)
5 library(factoextra)
6 library(cluster)
7 library(xlsx)
8 library(tidyverse)
9
10 #Depois foi preciso importar a planilha do Excel com os valores dos indicadores;
11
12 # Para uma melhor visualização dos dados, a coluna foi transformada em rótulos de linha;
13
14 RSC <- RSC_500 %>% column_to_rownames("Cidades")
15
16 #Devido formatação algumas colunas foram identificadas como caracteres;
17
18 chars <- sapply(RSC, is.character)
19
20 #Com isso, os valores numéricos foram convertidos em caracteres;
21
22 RSC[, chars] <- as.data.frame(apply(RSC[, chars], 2, as.numeric))
23
24
25
26 #Antes da análise foi preciso normalizar os dados;
27
28 RSC <- scale(RSC)
29
30
31 # Para encontrar a quantidade ótima de dados, foi usado o método "elbow";
32
33 fviz_nbclust(RSC, kmeans, method = "wss")
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
44:45 (Top Level)
R Script

```

Fonte: O Autor (2022)

Figura 9 – 2ª parte do código R utilizado



```

29
30
31 # Para encontrar a quantidade ótima de dados, foi usado o método "elbow";
32
33 fviz_nbclust(RSC, kmeans, method = "wss")
34
35
36 # Roda o método K-means para um k=3;
37
38 km_data <- kmeans(RSC,3)
39
40 # Plotagem e definição das características;
41
42 fviz_cluster(km_data, data = RSC,geom = c("point", "text"), ellipse.type = "convex",ellipse.alpha = 0.2)
43
44 #Identificação dos clusters para cada cidade;
45
46 n_clusters <- km_data$cluster
47
48 data_res <- cbind(RSC_500, n_clusters)
49
50 #exportando tabela
51
52 write.xlsx(data_res, file = "RSC_500.xlsx")
53
54 #visualizar centroides
55
56 centroides <- km_data$centers
57
58 #exportando tabela
59
60 write.xlsx(centroides, file = "centroides_RSC_500.xlsx")
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
44:45 (Top Level)
R Script

```

Fonte: O Autor (2022)