

Framework Multidimensional para Avaliação da Inteligência em Cidades Brasileiras:
Integrando Tecnologia e Governança

Doutorando: Neimar Ferreira da Rosa

55-999922351

neimarferreira@gmail.com

Programa de Pós-Graduação em Administração e Ciências Contábeis – PPGACC

Universidade Federal de Santa Maria – RS

Orientador: Prof. Dr. Gilnei Luiz de Moura

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população urbana tem imposto desafios cada vez mais complexos às cidades em todo o mundo. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU-HABITAT, 2022), estima-se que, até 2050, cerca de 70% da população mundial viverá em áreas urbanas, o que pressionará ainda mais os sistemas de infraestrutura, transporte, segurança, meio ambiente e governança (AHVENNIEMI et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2021). Com o avanço da transformação digital e o uso intensivo de tecnologias de informação e comunicação (TICs), as cidades inteligentes (*smart cities*) tem ganhado destaque como uma abordagem inovadora para enfrentar esses desafios e tornar os espaços urbanos mais eficientes, sustentáveis e inclusivos (KUMMITHA; CRUTZEN, 2017; LIM et al., 2018; JAVED et al., 2022).

O conceito de cidades inteligentes é abordado sob diferentes perspectivas, que vão desde a adoção de tecnologias emergentes até modelos de governança participativa e desenvolvimento sustentável (GUENDUEZ; MERGEL, 2022). Em linhas gerais, uma cidade inteligente pode ser compreendida como um ecossistema urbano que se utiliza de soluções tecnológicas, inovação organizacional e participação cidadã para otimização de recursos e melhoria da qualidade de vida da população (BARRUTIA et al., 2022). Em outras palavras, Yigitcanlar et al. (2018) enfatizam que a convergência da tecnologia e da cidade é comumente chamada de cidade inteligente. Que pode ser vista como uma possível solução para os desafios que a urbanização cria na era das mudanças climáticas globais e como um facilitador de um futuro urbano sustentável e habitável.

1.1 Problema de Pesquisa

As cidades inteligentes têm sido apresentadas como soluções inovadoras para os desafios urbanos contemporâneos, mas sua avaliação e implementação apresentam desafios complexos. A transformação das cidades existentes em cidades inteligentes tornou-se uma necessidade urgente que requer ação ou atenção imediata para efetivamente lidar com os problemas urbanos e ambientais, especialmente em países em desenvolvimento (FAROUN et al., 2022). Nesta perspectiva, a ausência de modelos integrados que sejam capazes de mensurar o nível de inteligência das cidades dificulta a formulação de estratégias eficazes e a adoção de políticas públicas alinhadas às necessidades reais da população (NIKITAS et al., 2020).

Existe um grande interesse no desenvolvimento e implementação de ferramentas, estruturas e conjuntos de indicadores para a avaliação de cidades inteligentes (SHARIFI, 2020). No entanto, ainda há uma falta de consenso sobre a ideia de cidade inteligente e as melhores maneiras de alcançar a inteligência urbana, com as várias definições disponíveis divergindo entre si (DUSEK, 2024; BARBIERI et al., 2025). Para Barbieri et al. (2025) as definições evoluíram para incluir elementos "soft" (capital humano e social), reconhecendo o papel central das pessoas e exigindo uma visão multidimensional da cidade com objetivos mais holísticos que abordam desafios sociais, ambientais e econômicos como igualmente importantes aos tecnológicos.

Dessa forma, espera-se que essa pesquisa contribua para o avanço do conhecimento sobre cidades inteligentes e forneça diretrizes para a construção de ambientes urbanos mais preparados para os desafios do futuro. A resposta a essa questão se torna essencial para permitir que gestores públicos e tomadores de decisão possam embasar suas estratégias em indicadores claros e padronizados, promovendo um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável. Diante dessa realidade, a principal questão que norteia esta pesquisa é: **como desenvolver um framework multidimensional capaz de avaliar de forma sistemática e adaptada à realidade brasileira o nível de inteligência das cidades, considerando aspectos tecnológicos e de governança?**

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um framework multidimensional para avaliação da inteligência em cidades brasileiras.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar as principais dimensões e indicadores que compõem a inteligência urbana.
- b) Modelar as interações entre variáveis de cidades inteligentes.
- c) Desenvolver visualizações e redes que representem o ecossistema urbano inteligente.
- d) Validar o framework proposto com base em simulações e painéis interativos.

1.3 Justificativa

A acelerada urbanização impõe desafios crescentes para a gestão das cidades, exigindo delas soluções inovadoras que garantam eficiência operacional, sustentabilidade e qualidade de vida. Castanho et al. (2021) relatam que embora as áreas urbanas ocupem cerca de 2% da superfície do planeta, elas acomodam mais de 50% da população mundial, consomem cerca de 75% da energia total gerada e são responsáveis por 80% da geração de gases de efeito estufa.

A transição para cidades inteligentes conforme Mora et al. (2023) ocorre de forma desigual, com municípios em diferentes estágios de digitalização e infraestrutura urbana. Porto e Oliveira (2020) ressaltam que tais iniciativas devem ser desenhadas de acordo com as necessidades e condições de cada município. A ausência de um modelo estruturado para avaliar o nível de inteligência das cidades dificulta a criação de políticas públicas eficazes e a identificação de pontos fortes e fragilidades no desenvolvimento urbano (AHVENNIEMI et al., 2017). Nesse sentido, a criação de um framework multidimensional se torna essencial para padronizar e sistematizar a análise das cidades brasileiras, proporcionando um referencial claro para a tomada de decisão baseada em evidências.

Um fator determinante para a criação de um framework nacional é a necessidade de ferramentas de apoio à decisão que possibilitem a formulação de políticas públicas baseadas em dados. O avanço das tecnologias de big data e inteligência artificial tem viabilizado análises mais sofisticadas e preditivas, auxiliando gestores urbanos na otimização dos serviços públicos e no uso eficiente dos recursos disponíveis (ALLAM; DHUNNY, 2019). Outro fator relevante é a desigualdade na implementação das soluções tecnológicas entre cidades de diferentes portes. Enquanto grandes metrópoles conseguem atrair investimentos para o desenvolvimento de soluções digitais, cidades menores enfrentam dificuldades estruturais para adotar essas inovações (ALLAM; JONES, 2022).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As cidades inteligentes evoluíram ao longo do tempo a partir das transformações em Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) e do aumento da população urbana.

2.1 Cidades Inteligentes: Conceito e Evolução

A introdução do conceito de cidades inteligentes se dá a partir do início da década de 1990 (ALBINO et al., 2015; ZHAO et al., 2021), desde então, o termo tem despertado crescente interesse acadêmico e prático, especialmente após 2010 com o apoio de projetos da União

Europeia (AHVENNIEMI et al., 2017; KUMMITHA; CRUTZEN, 2017). O interesse é evidenciado pelo crescimento nos últimos anos no número de publicações (Caragliu et al., 2023). No entanto, apesar da sua ampla utilização, a definição de cidade inteligente ainda carece de clareza e consenso, refletindo interpretações variadas sobre seu significado (GUENDUEZ; MERGEL, 2022; ANGELIDOU, 2015; CARAGLIU et al., 2011; HOLLANDS, 2008).

As definições iniciais de cidades inteligentes enfatizam o uso de tecnologias modernas no ambiente urbano (GUENDUEZ; MERGEL, 2022; LOMBARDI et al., 2012). Tais tecnologias facilitam uma maior qualidade de vida e reduzem o impacto ambiental, configurando-se como um meio para um desenvolvimento urbano mais sustentável (AHVENNIEMI et al., 2017). Diferentes autores, debatem que o conceito de cidades inteligentes tem sido amplamente associado ao uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) para aumentar a eficiência de serviços urbanos, infraestrutura e bem-estar dos cidadãos (GUENDUEZ; MERGEL, 2022; CARAGLIU; DEL BO, 2019; KUMMITHA; CRUTZEN, 2017).

O conceito de cidade inteligente surgiu em resposta aos principais problemas criados quando regiões específicas começaram a atrair um número maior de habitantes. Essas migrações resultaram em poluição do ar, dificuldades com o gerenciamento de recursos, congestionamento de tráfego, desafios de saúde pública e infraestrutura incapaz de acompanhar o estado permanente de evolução das cidades (NUNES et al., 2021).

2.2 Definições e Abordagens e Tecnologias Utilizadas em Cidades Inteligentes

O conceito de cidade inteligente foi desenvolvido para lidar com os desafios de qualidade de vida das pessoas, renovação de recursos naturais e sustentabilidade do ambiente urbano, ocasionados pelo rápido crescimento urbano. Para encontrar soluções, novas tecnologias que preservem o ambiente das cidades e promovam o bem-estar de seus moradores são buscadas (NUNES et al., 2021). A principal característica de uma cidade inteligente apresentada por Wang e Zhou (2022) é a ampla aplicação de TIC, que pode incluir sensores, monitores, internet, internet das coisas e computação em nuvem, sendo esses elementos, capazes de realizar a coleta, transmissão e processamento de dados em tempo real em diversos campos. As informações integradas podem beneficiar a gestão da cidade e, conseqüentemente, melhorar a sua eficiência operacional.

Conforme descrito por Barrutia et al. (2022) um número crescente de cidades em todo o mundo está adotando o rótulo de cidade inteligente como uma perspectiva abrangente para articular sua transformação e geração de valor para seus cidadãos. Também, Guenduez e Mergel (2022) revelam que a prontidão para inovação, prontidão para recursos, mentalidade participativa e coletiva e prontidão estratégica são fatores importantes na transformação para uma cidade inteligente.

A concepção de cidades inteligentes emergiu como resposta aos desafios do crescimento populacional e da necessidade de otimização dos recursos urbanos. O conceito inicial baseava-se na digitalização da infraestrutura urbana e no uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para melhorar serviços essenciais, como transporte, segurança e energia (BEKKAR et al., 2021). No entanto, com a rápida urbanização e a complexidade crescente das cidades, o modelo tradicional de digitalização mostrou-se insuficiente, exigindo uma abordagem mais integrada e baseada em dados.

A integração da inteligência artificial (IA) e dos gêmeos digitais (Digital Twins) representa um marco na evolução das cidades inteligentes. Os gêmeos digitais são modelos virtuais que permitem simular diferentes cenários urbanos e prever o impacto de intervenções antes de sua implementação real (AUSTIN et al., 2020). Essa abordagem tem sido amplamente

utilizada na gestão de energia, mobilidade e planejamento urbano, possibilitando um uso mais eficiente dos recursos e reduzindo desperdícios (FRANCISCO et al., 2020).

A inteligência artificial pode ser utilizada para aprimorar a tomada de decisão nas cidades, com a possibilidade de análises preditivas e automação de processos. Com a implementação do aprendizado federado, tornou-se possível processar grandes volumes de dados sem comprometer a privacidade dos cidadãos, pois os modelos de IA são treinados de forma descentralizada, sem a necessidade de transferir dados sensíveis para servidores centrais (ZHENG et al., 2022).

Além da segurança dos dados, a tecnologia blockchain também pode ser aplicada na gestão de contratos inteligentes, o que permite a automação de processos burocráticos, como licenciamento urbano e serviços públicos (NAM et al., 2021). A combinação do blockchain com a computação em névoa fortalece a resiliência das cidades inteligentes, o que pode garantir que serviços críticos continuem operando mesmo diante de falhas em servidores centrais (SINGH et al., 2020).

2.3 Aspectos e Dimensões Fundamentais para Avaliação de Cidades Inteligentes

Um significativo avanço no desenvolvimento de instrumentos de avaliação para cidades inteligentes tem sido observado nas últimas duas décadas, refletindo o crescente reconhecimento da importância de mecanismos robustos de monitoramento e análise para orientar políticas urbanas sustentáveis. Como destacado por Sharifi (2020), esse movimento acadêmico e prático evidencia a necessidade de bases avaliativas consistentes que possam informar o planejamento de cidades verdadeiramente inteligentes, sustentáveis e resilientes.

O conceito de cidade inteligente tem buscado abranger uma visão holística do desenvolvimento urbano, que integra de forma sistêmica todos os aspectos da vida na cidade. Shen et al. (2018) caracterizam essa nova gestão dos espaços urbanos como um modelo que, através da aplicação estratégica de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), possibilita otimizar recursos e melhorar continuamente os serviços urbanos. Essa abordagem transcende a mera incorporação tecnológica, exigindo uma transformação profunda nos processos de gestão e planejamento das cidades.

A) Tecnologia e infraestrutura digital

A infraestrutura digital configura-se como elemento estruturante dos modelos de cidades inteligentes, provendo os subsídios tecnológicos necessários para a coleta, processamento e análise de dados urbanos em tempo real. Como demonstra Sharifi (2019, 2020), a convergência de tecnologias disruptivas como a Internet das Coisas (IoT), redes de sensores distribuídos, plataformas de big data e sistemas de inteligência artificial, constitui uma base imprescindível para a automação de serviços urbanos, gestão integrada de sistemas e respostas eficientes a situações de emergência.

Do ponto de vista técnico-operacional, a avaliação da maturidade digital das cidades inteligentes deve considerar dois eixos fundamentais: primeiro a interoperabilidade sistêmica entre plataformas tecnológicas, e segundo, o grau de prontidão tecnológica da infraestrutura instalada. Essa abordagem exige a adoção de padrões técnicos abertos e protocolos unificados que garantam não apenas eficiência operacional, mas também escalabilidade e integração intersetorial (SHARIFI, 2019; 2020).

A implementação bem-sucedida dessa infraestrutura digital permite não apenas a automação de serviços, mas principalmente a criação de ecossistemas urbanos capazes de monitorar, analisar e otimizar continuamente seu funcionamento (DALL'O et al., 2017). Como demonstram estudos de caso, a instrumentação digital de infraestruturas físicas, incluindo

sistemas viários, redes de utilidades e edificações, possibilita a otimização de recursos, manutenção preditiva e monitoramento contínuo de parâmetros de segurança e desempenho.

B) Governança e tomada de decisão baseada em dados

A governança inteligente representa uma transformação paradigmática nos processos decisórios urbanos, caracterizada pela adoção de abordagens orientadas por dados empíricos e mecanismos inovadores de participação cidadã e responsabilidade digital (SHARIFI, 2019). Essa nova forma de governar as cidades se apoia em ferramentas de certificação, e em frameworks como apresentado por Westraadt e Calitz (2020), os quais destacam a importância de plataformas integradas de gestão municipal como elementos centrais para a consolidação de processos decisórios intersetoriais integrados.

A dimensão da governança inteligente transcende as estruturas políticas convencionais, incorporando o uso estratégico de tecnologias digitais e fluxos de dados para aprimorar a eficiência administrativa, a transparência governamental e os mecanismos de participação social (SHEN et al., 2018). Nesse contexto, plataformas integradas surgem como instrumentos fundamentais para a gestão urbana baseada em Big Data, permitindo a coleta, análise e aplicação de grandes volumes de dados urbanos em áreas críticas como mobilidade, segurança pública e resposta a emergências (WESTRAADT; CALITZ, 2020). Contudo, como apontam os estudos, persistem lacunas significativas na pesquisa sobre a aplicação efetiva desses dados para o planejamento urbano integrado.

C) Sustentabilidade e eficiência no uso de recursos

As cidades inteligentes representam um paradigma urbano no qual a dimensão ambiental assume papel central, articulando gestão eficiente de recursos naturais com inovação tecnológica. Esta abordagem visa conciliar desenvolvimento urbano com sustentabilidade, alinhando-se a metas globais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Contudo, análises críticas revelam que os modelos tradicionais de avaliação frequentemente negligenciam aspectos cruciais como resiliência climática e impactos de longo prazo, exigindo assim novas abordagens metodológicas que combinem indicadores de insumos, processos e resultados (SHARIFI, 2019).

A sustentabilidade ambiental configura-se como pré-condição fundamental para o desenvolvimento urbano inteligente. Esta perspectiva integra múltiplos componentes, desde sistemas avançados de eficiência energética e gestão circular de resíduos até o monitoramento contínuo de emissões poluentes e a preservação de ecossistemas urbanos. Shen et al. (2018) destacam que tais elementos devem ser avaliados de forma sistêmica, considerando desde a pegada ecológica local até os impactos globais das atividades urbanas.

D) Mobilidade urbana inteligente

A mobilidade inteligente constitui um pilar fundamental no desenvolvimento de cidades sustentáveis, caracterizando-se pela integração multimodal, acessibilidade universal, gestão adaptativa de tráfego e utilização intensiva de dados para planejamento urbano.

A interoperabilidade entre modais de transporte e a capacidade de fornecer plataformas integradas destacam-se como elementos críticos na mobilidade inteligente (SHARIFI, 2019). Além disso, a definição de indicadores específicos para mensurar a eficácia dos sistemas de transporte tem sido objeto de investigação acadêmica (SHEN et al., 2018). Nesse contexto, a priorização de soluções sustentáveis configura-se como um requisito essencial para a consolidação de cidades verdadeiramente inteligentes (OLIVEIRA et al., 2021).

E) Economia e desenvolvimento urbano sustentável

A dimensão econômica das cidades inteligentes está diretamente relacionada à inovação, ao empreendedorismo, à geração de empregos de alta qualificação e ao desenvolvimento da

economia digital. Indicadores internacionais são frequentemente utilizados para avaliar a capacidade das cidades de atrair e reter talentos, estimular o ecossistema de startups e manter sua competitividade em escala global. No entanto, estudos recentes destacam a necessidade de incorporar métricas adicionais, como equidade econômica, formalização do trabalho e acesso a oportunidades, a fim de assegurar uma avaliação mais abrangente da sustentabilidade do desenvolvimento urbano (SHARIFI, 2019; 2020).

Modelos de cidade inteligente surgem como uma estratégia para integrar o papel crescente das TICs, do capital social e ambiental na definição da competitividade e sustentabilidade urbana (DALL'O et al., 2017). Nesse sentido, o fomento à economia criativa, por meio de investimentos em qualidade de vida, torna-se um objetivo central, uma vez que atrai profissionais do conhecimento. Além disso, o desenvolvimento de serviços de valor agregado, baseados em tecnologias emergentes, contribui para a dinamização econômica (DALL'O et al., 2017; DASHKEVYCH; PORTNOV, 2022).

2.4 Ferramentas e Metodologias para Avaliação de Cidades Inteligentes

A avaliação de cidades inteligentes demanda a utilização de diversas ferramentas e metodologias, que buscam compreender, mensurar e monitorar o desempenho urbano em múltiplas dimensões, desde a governança até as inovações tecnológicas.

A base para a avaliação de cidades inteligentes encontra-se na utilização de indicadores robustos, capazes de refletir os diversos aspectos urbanos. Nesse sentido, destaca-se a norma ISO 37120, que oferece um conjunto padronizado de indicadores para mensuração de serviços urbanos e qualidade de vida. Kowalczyk e Račka (2024) apontam que o uso dessa norma permite uma avaliação comparativa entre cidades de diferentes países, o que possibilita a padronização dos dados e facilita de certa forma a gestão pública orientada a resultados.

Neste contexto, conforme apontado por Sharifi (2020), os indicadores comumente citados na literatura abrangem aspectos como modos de transporte sustentáveis, plataformas de dados abertos e infraestrutura ou estratégias voltadas à coleta e ao compartilhamento de dados. Por outro lado, a incorporação da sustentabilidade no conceito das cidades inteligentes resultou na inclusão de métricas associadas aos pilares ambiental, social e econômico da sustentabilidade (SKVARCIANY et al., 2021).

Além dos indicadores e métodos analíticos, a aplicação de tecnologias digitais tem desempenhado um importante papel na avaliação e gestão das cidades inteligentes. O uso de big data analytics permite o processamento de grandes volumes de dados urbanos, oriundos de sensores, redes de transporte, consumo energético e serviços públicos, o que favorece uma análise contínua e detalhada dos padrões urbanos (PURNOMO et al., 2020).

Em relação à representação e simulação das dinâmicas urbanas, a modelagem com dinâmica de sistemas tem sido uma metodologia recorrente. Essa abordagem permite compreender as inter-relações entre diferentes variáveis urbanas ao longo do tempo, o que facilita a análise de políticas públicas e a antecipação de impactos futuros. Barbieri et al. (2025), por exemplo, aplicaram essa técnica para simular o desempenho de cidades italianas em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (SDGs), considerando os feedbacks e atrasos característicos dos sistemas urbanos.

Por fim, a análise de cluster constitui uma ferramenta estatística que tem sido empregada para agrupar cidades ou regiões segundo padrões semelhantes de desenvolvimento socioeconômico, tecnológico e ambiental. Chovancová et al. (2024) utilizaram esta metodologia para classificar países europeus em relação a indicadores de cidades inteligentes e saúde pública, identificando grupos homogêneos e possibilitando uma análise comparativa entre diferentes contextos regionais. Essas ferramentas e metodologias, combinadas de forma integrada, permitem uma avaliação abrangente e detalhada das cidades inteligentes,

contemplando desde a infraestrutura tecnológica até os aspectos sociais, ambientais e de governança, assegurando uma abordagem sistêmica e orientada à tomada de decisão.

A aplicação de tecnologias digitais no processo avaliativo tem se expandido para além das tradicionais infraestruturas urbanas, chegando a setores específicos, como a saúde. Mohammadzadeh et al. (2023) realizaram uma revisão sistemática que identificou tecnologias essenciais para inovações na entrega de serviços de saúde em cidades inteligentes, com destaque para o papel de sensores IoT, análises de dados em tempo real e aplicativos móveis no monitoramento da saúde populacional e na detecção precoce de doenças. Essas tecnologias demonstram como a integração entre indicadores de saúde e infraestrutura tecnológica pode fortalecer o desempenho urbano, especialmente em países em desenvolvimento.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa adota a abordagem Design Science Research (DSR) como referencial metodológico, por se tratar de um estudo voltado ao desenvolvimento de um artefato, no caso, um framework multidimensional de avaliação. Segundo Hevner et al. (2004), a DSR é apropriada quando o objetivo é criar inovações que definam ideias, práticas e produtos capazes de contribuir com a efetividade organizacional.

3.1 Tipo de Pesquisa

Esta investigação caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, que visa à elaboração de um modelo prático, um framework multidimensional com a finalidade de avaliação da inteligência em cidades brasileiras. De acordo com Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas concretos, muitas vezes com interesse imediato de utilização.

A abordagem adotada é predominantemente qualitativa. Para Triviños (1987), a pesquisa qualitativa é apropriada quando se pretende interpretar o significado de ações humanas e contextos sociais, considerando múltiplas variáveis e sua interação. Complementando, Richardson (1989) argumenta que a abordagem qualitativa permite uma leitura mais densa dos fenômenos sociais, superando os limites da quantificação e valorizando a compreensão contextual.

Do ponto de vista de seus fins, trata-se de uma pesquisa exploratória. Conforme Thiollent (2008), a pesquisa exploratória é recomendada quando há necessidade de reconhecimento inicial de um problema e de formulação de hipóteses mais precisas ou instrumentos mais apropriados.

A proposta da pesquisa também se insere em uma perspectiva construtiva, dado que pretende desenvolver um artefato teórico-metodológico original. Assim, a investigação se estrutura como aplicada, qualitativa e exploratória, voltando-se não apenas à compreensão dos fenômenos, mas também à proposição de soluções práticas e adaptadas aos desafios contemporâneos da administração pública e da gestão urbana.

3.2 Estrutura Metodológica da *Design Science Research*

A abordagem metodológica do presente estudo é guiada pelos princípios da *Design Science Research* (DSR), tendo como base o modelo processual proposto por Peffers et al. (2007), amplamente aceito na área de Sistemas de Informação e Administração. Essa metodologia busca construir e avaliar artefatos capazes de resolver problemas práticos relevantes, gerando, ao mesmo tempo, contribuições teóricas. A seguir destacam as etapas de desenvolvimento da DSR:

- a) Identificação do problema e motivação;
- b) Definição dos objetivos da solução;
- c) Projeto e desenvolvimento do artefato;
- d) Demonstração (*Demonstration*);
- e) Avaliação (*Evaluation*);
- f) Comunicação (*Communication*).

3.3 Técnicas de Coleta e Análise de Dados

A cidade (ou conjunto de cidades) a ser estudada será definida com base na disponibilidade de dados secundários abertos (ex: IBGE, SNIS, Open Data Brasil) e potencial de replicação do modelo em outras realidades municipais. Os critérios de seleção considerarão diversidade territorial, infraestrutura digital existente e nível de maturidade na adoção de tecnologias urbanas.

A primeira etapa da pesquisa, de natureza exploratória e analítica, consistirá na realização de uma revisão sistemática da literatura (RSL) voltada à identificação de modelos, dimensões, variáveis e indicadores utilizados na avaliação de cidades inteligentes. Essa etapa visa consolidar o conhecimento existente e orientar a construção do framework teórico, com base em protocolos validados e práticas replicáveis. Nas etapas subsequentes, os achados da RSL serão operacionalizados por meio de técnicas multicritério, com destaque para o AHP e suas variações, e da modelagem com Dinâmica de Sistemas, cuja integração será posteriormente visualizada em painéis interativos desenvolvidos no Power BI, visando facilitar o uso dos resultados por tomadores de decisão no setor público.

A revisão sistemática da literatura (RSL) será utilizada com o propósito de identificar, mapear e sintetizar os modelos, indicadores e dimensões aplicáveis à avaliação de cidades inteligentes no contexto da Administração Pública. Essa técnica será adotada por permitir um levantamento rigoroso e replicável do conhecimento existente, assegurando consistência metodológica para a fundamentação do framework a ser desenvolvido. O processo seguirá as etapas propostas por Tranfield, Denyer e Smart (2003) e Kitchenham (2004), amplamente empregadas em pesquisas da área de gestão, conforme exemplificado por Fabrizio et al. (2021) e Drago et al. (2023).

A revisão seguirá as diretrizes PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), assegurando a rastreabilidade e a transparência do processo. Conforme argumentam Fabrizio et al. (2021), o uso de um protocolo sistemático amplia a validade interna e a replicabilidade dos achados, aspectos fundamentais em estudos voltados à construção de modelos de avaliação.

A etapa seguinte da pesquisa será dedicada ao desenvolvimento e à validação do framework multidimensional, utilizando duas abordagens metodológicas complementares: técnicas multicritério de apoio à decisão e modelagem com Dinâmica de Sistemas (DS). A integração dessas abordagens possibilitará tanto a definição estruturada e ponderada dos indicadores quanto a simulação do comportamento dinâmico das variáveis envolvidas, permitindo testar o framework em diferentes contextos urbanos.

A etapa de estruturação dos indicadores do framework será conduzida por meio do método Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvido por Saaty (1980), devido à sua robustez na hierarquização de critérios com base em comparações pareadas. O AHP será utilizado para obter os pesos relativos de cada dimensão avaliada (tecnológica, governamental, decisória, ambiental etc.), com a participação de especialistas da academia e da gestão pública municipal.

Após a definição e ponderação dos critérios, será desenvolvido um modelo computacional baseado na metodologia de Dinâmica de Sistemas (DS), conforme estruturação

proposta por Forrester (1961) e operacionalizada por Sterman (2000). Essa abordagem será fundamental para representar sistemas complexos, não lineares e com feedback, como são os contextos urbanos inteligentes.

O modelo será implementado no software Vensim DSS e seguirá a estrutura de estoques, fluxos e feedbacks. A construção do modelo incluirá: Identificação de subsistemas relevantes (tecnológico, institucional, ambiental, social); Elaboração de diagramas causais e diagramas de estoques e fluxos; Definição de equações diferenciais baseadas em dados secundários e inferência empírica; Realização de simulações em diferentes horizontes temporais (curto, médio e longo prazo); Aplicação de técnicas de validação comportamental e análise de sensibilidade, conforme Sterman (2000).

Com o objetivo de operacionalizar e visualizar os resultados do framework proposto, serão desenvolvidas redes de indicadores integradas a painéis interativos no Power BI. Esta etapa complementar a aplicação prática do modelo, possibilitando que os gestores urbanos visualizem de forma intuitiva os níveis de maturidade da cidade em termos de inteligência, bem como simulem os impactos de diferentes decisões.

REFERÊNCIAS

AHVENNIEMI, H.; HUOVILA, A.; PINTO-SEPPÄ, I.; AIRAKSINEN, M. What are the differences between sustainable and smart cities?. **Cities**, v. 60, p. 234-245, 2017.

ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. **Journal of urban technology**, v. 22, n. 1, p. 3-21, 2015.

ALLAM, Z.; DHUNNY, Z. A. On big data, artificial intelligence and smart cities. **Cities**, v. 89, p. 80-91, 2019.

ALLAM, Z.; JONES, D. S. Future (post-COVID) digital, smart and sustainable cities in the wake of 6G: Digital twins, immersive realities and new urban economies. **Land Use Policy**, v. 101, p. 105201, 2022.

ANGELIDOU, M. Smart cities: A conjuncture of four forces. **Cities**, v. 47, p. 95-106, 2015.

AUSTIN, M.; DELGOSHAELI, P.; COELHO, M.; HEIDARINEJAD, M. Architecting smart city digital twins: Combined semantic model and machine learning approach. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 4, p. 04020026, 2020.

BARBIERI, R.; COLUCCIA, B.; NATALE, F. How are smart city policies progressing in Italy? Insights from SDG indicators. **Land Use Policy**, v. 148, p. 107386, 2025.

BARRUTIA, J. M.; ECHEBARRIA, C.; AGUADO-MORALEJO, I.; APAOLAZA-IBÁÑEZ, V.; HARTMANN, P. Leading smart city projects: Government dynamic capabilities and public value creation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 179, p. 121679, 2022.

BEKKAR, A.; HSSINA, B.; DOUZI, S.; DOUZI, K. Air-pollution prediction in smart city, deep learning approach. **Journal of big Data**, v. 8, p. 1-21, 2021.

CARAGLIU, A.; DEL BO, C. F. Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 142, p. 373-383, 2019.

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

CASTANHO, M. S.; FERREIRA, F. A. F.; CARAYANNIS, E. G.; FERREIRA, J. J. M. SMART-C: Developing a “Smart City” Assessment System Using Cognitive Mapping and the Choquet Integral. **IEEE Transactions on Engineering Management**, vol. 68, n. 2, april, 2021.

CHOVANCOVÁ, J.; PETRUŠKA, I.; PATA, U. K. A Cross-National Study on Sustainable Smart City Indicators and Their Influence on Life Expectancy—A Cluster Analysis of EU Countries. **Urban Science**, v. 8, n. 4, p. 164, 2024.

DALL’O, G.; BRUNI, E.; PANZA, A.; SARTO, L.; KHAYATIAN, F. Evaluation of cities’ smartness by means of indicators for small and medium cities and communities: A methodology for Northern Italy. **Sustainable Cities and Society**, v. 34, p. 193-202, 2017.

DASHKEVYCH, O.; PORTNOV, B. A. Criteria for smart city identification: a systematic literature review. **Sustainability**, v. 14, n. 8, p. 4448, 2022.

DE SANCTIS, M.; IOVINO, L.; ROSSI, M. T.; WIMMER, M. MIKADO: a smart city KPIs assessment modeling framework. **Software and Systems Modeling**, v. 21, n. 1, p. 281-309, 2022.

DRAGO, H. F.; MOURA, G. L.; SILVA, L. S. C. V.; VEIGA, C. P.; KACZAM, F.; SANTA RITA, L. P.; SILVA, W. V. Reviewing the relationship between organizational performance, dynamic capabilities and strategic behavior. **SN Business & Economics**, v. 3, p. 5, 2023.

DUSEK, T. Smart city indicators and the conceptual problems of measuring smart cities. **Deturope**. 16(3), 172-184, 2024.

FABRIZIO, C. M.; KACZAM, F.; MOURA, G. L.; SILVA, L. S. C. V.; SILVA, W. V.; VEIGA, C. P. Competitive advantage and dynamic capability in small and medium-sized enterprises: a systematic literature review. **Review of Managerial Science**, v. 15, p. 1–26, 2021.

FAROUN, N. M.; EL-BADRAWY, A. N.; EL-GIZAWI, L. S. Transforming old cities into smart cities using environmental key performance indicators to solve environmental problems. **Civ. Eng. Archit**, v. 10, n. 5, p. 2075-2088, 2022.

FORRESTER, J. W. **Industrial dynamics**. Cambridge: MIT Press, 1961.

FRANCISCO, A.; MOHAMMADI, N.; TAYLOR, J. E. Smart city digital twin-enabled energy management: Toward real-time urban building energy benchmarking. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 2, p. 04019045, 2020.

GUENDUEZ, A. A.; MERGEL, I. The role of dynamic managerial capabilities and organizational readiness in smart city transformation. **Cities**, v. 129, p. 103791, 2022.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.

HOLLANDS, R. G. Will the real smart city please stand up?: Intelligent, progressive or entrepreneurial?. In: **The Routledge companion to smart cities**. Routledge, 2020. p. 179-199.

JAVED, A. R.; SHAHZAD, F.; REHMAN, S.; ZIKRIA, Y. B.; RAZZAK, I.; JALIL, Z.; XU, G. Future smart cities: Requirements, emerging technologies, applications, challenges, and future aspects. **Cities**, v. 129, p. 103794, 2022.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele University**, 2004.

KOWALCZYK, M.; RAĆKA, I. The indicators included in ISO 37120 and performance measurement in smart cities. **The Theoretical Journal of Accounting**, v. 48, n. 2, p. 55-72, 2024.

KUMMITHA, R. K. R.; CRUTZEN, N. How do we understand smart cities? An evolutionary perspective. **Cities**, v. 67, p. 43-52, 2017.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIM, C.; KIM, K.; MAGLIO, P. P. Smart cities with big data: Reference models, challenges, and considerations. **Cities**, v. 82, p. 86-99, 2018.

LOMBARDI, P.; GIORDANO, S.; FAROUH, H.; YOUSEF, W. Modelling the smart city performance. **Innovation: The European Journal of Social Science Research**, v. 25, n. 2, p. 137-149, 2012.

MOHAMMADZADEH, Z.; SAEIDNIA, H. R.; LOTFATA, A.; HASSANZADEH, M. GHIASI, N. Smart city healthcare delivery innovations: a systematic review of essential technologies and indicators for developing nations. **BMC health services research**, v. 23, n. 1, p. 1180, 2023.

MORA, L.; BOLICI, R.; DEAKIN, M. How to become a smart city: Learning from Amsterdam, Barcelona, and London. **Technology in Society**, v. 64, 101484, 2023.

NAM, K.; DUTT, C. S.; CHATHOTH, P.; KHAN, M. S. Blockchain technology for smart city and smart tourism: latest trends and challenges. **Asia Pacific Journal of Tourism Research**, v. 26, n. 4, p. 454-468, 2021.

NIKITAS, A.; KOWOL-SANTEN, J.; RAUSCHENBACH, T. Artificial intelligence, transport, and the smart city: Definitions and dimensions of a new mobility era. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8469, 2020.

NUNES, S. A. S.; FERREIRA, F. A. F.; GOVIDAN, K.; PEREIRA, L. F. "Cities go smart!": A system dynamics-based approach to smart city conceptualization. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127683, 2021.

OLIVEIRA, J. R.; SILVA, M. M.; SANTOS, S. M. COSTA, A. P. C. S.; CLEMENTE, T. R. N. Multidimensional sorting framework of cities regarding the concept of sustainable and smart cities with an application to Brazilian capitals. **Sustainable Cities and Society**, v. 74, p. 103193, 2021.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.

PORTO, J. B.; OLIVEIRA, M. The smart cities methodology based on public value: The first evaluation cycle. **BAR-Brazilian Administration Review**, v. 17, p. e190048, 2020.

PURNOMO, F.; GAOL, F. L.; PRABOWO, H.; SUPANGKAT, S. A Systematic Literature Review on Smart Cities: Indicators, Methods, and Case Studies. **ICIC Express Letters**. Volume 14, Number 11, 2020.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1989.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SHARIFI, A. A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets. **Journal of cleaner production**, v. 233, p. 1269-1283, 2019.

SHARIFI, A. A typology of smart city assessment tools and indicator sets. **Sustainable cities and society**, v. 53, p. 101936, 2020.

SHEN, L.; HUANG, Z.; WONG, S. W.; LIAO, S.; LOU, Y. A holistic evaluation of smart city performance in the context of China. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 667-679, 2018.

SINGH, P.; NAYYAR, A.; KAUR, A.; GHOSH, U. Blockchain and fog based architecture for internet of everything in smart cities. **Future Internet**, v. 12, n. 4, p. 61, 2020.

SKVARCIANY, V.; JUREVIČIENĖ, D.; ŽITKIENĖ, R.; LAPINSKAITĖ, I.; DUDĖ, U. A different approach to the evaluation of smart cities' indicators. **TalTech Journal of European Studies**, vol. 11, no. 2, pp. 130-147, 2021.

STERMAN, J. D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Boston: McGraw-Hill, 2000.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2008.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

WANG, M.; ZHOU, T. Understanding the dynamic relationship between smart city implementation and urban sustainability. **Technology in Society**, v. 70, p. 102018, 2022.

WESTRAADT, L.; CALITZ, A. A modelling framework for integrated smart city planning and management. **Sustainable Cities and Society**, v. 63, p. 102444, 2020.

YIGITCANLAR, T.; KAMRUZZAMAN, M.; BUYS, L.; IOPPOLO, G.; SABATINI-MARQUES, J.; COSTA, E. M.; YUN, J. J. Understanding 'smart cities': Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. **Cities**, v. 81, p. 145-160, 2018.

ZHAO, F.; FASHOLA, O. I.; OLAREWAJU, T. I.; ONWUMERE, I. Smart city research: A holistic and state-of-the-art literature review. **Cities**, v. 119, p. 103406, 2021.

ZHENG, Z.; ZHOU, Y.; SUN, Y.; WANG, Z.; LIU, B.; LI, K. Applications of federated learning in smart cities: recent advances, taxonomy, and open challenges. **Connection Science**, v. 34, n. 1, p. 1-28, 2022.