

CIDADE INTELIGENTE NA CONTEMPORANEIDADE COM INTERNET DAS COISAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

SMART CITY IN CONTEMPORARY TIMES WITH INTERNET OF THINGS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

CIUDAD INTELIGENTE EN TIEMPOS CONTEMPORÁNEOS CON INTERNET DE LAS COSAS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Joberto S B Martins, Dr.

Universidade Salvador/Brazil

joberto.martins@animaeducacao.com.br

Augusto O. Perin, BEL

Universidade Salvador/Brazil

augustoooperin@gmail.com

Hélder U. Castro, MSC

Universidade Salvador/Brazil

helderuzeda@gmail.com

Euclério B. O. Filho, Esp.

Universidade Salvador/Brazil

euclerio@gmail.com

RESUMO

A estratégia de cidade inteligente impulsiona a criação de soluções inovadoras para os desafios do planejamento urbano das cidades. A Internet das Coisas (IoT), com sua capacidade de coleta de dados, é um componente chave das Tecnologias de Informação e Comunicação nas cidades inteligentes. Da mesma forma, a Inteligência Artificial (IA) propicia um conjunto de ferramentas vitais para análise de dados e otimização de serviços. Esse artigo apresenta uma discussão sobre o emprego da IoT em conjunto com a Inteligência Artificial visando a obtenção de novas soluções para o planejamento, gestão e serviços em cidades inteligentes. A análise se baseia numa revisão da literatura que busca identificar respostas para questões envolvendo o planejamento urbano das cidades, os temas estruturantes de cidades inteligentes, as técnicas de IA utilizadas e os dados coletados. Os resultados encontrados apontam para uma poderosa sinergia entre a IoT e a IA visando o desenvolvimento de serviços inovadoras, eficazes e integrados para os desafios do planejamento urbano contemporâneo.

Palavras-chave: Cidade Inteligente; Planejamento Urbano; Internet das Coisas; Inteligência Artificial; Tecnologias da Informação e Comunicação; Revisão da Literatura.

ABSTRACT

The smart city strategy drives the creation of innovative solutions to the challenges of urban planning in cities. With its data collection capacity, the Internet of Things (IoT) is a key component of Information and Communication Technologies in smart cities. Likewise, Artificial Intelligence (AI) provides a set of vital tools for data analysis and service optimization. This article presents a discussion on the use of IoT in conjunction with Artificial Intelligence to obtain new solutions for planning, management, and services in smart cities. The analysis is based on a literature review that seeks to identify answers to questions involving urban planning in cities, the structuring themes of smart cities, AI techniques, and data collection. The results point to a powerful synergy between IoT and AI, aiming to develop innovative, effective, and integrated services to address the challenges of contemporary urban planning.

Keywords: Smart City; Urban Planning; Internet of Things, IoT, Artificial Intelligence, Machine Learning; Information and Communication Technologies, ICT; Literature Review.



RESUMEN

La estrategia de ciudad inteligente impulsa la creación de soluciones innovadoras a los desafíos de la planificación urbana en las ciudades. El Internet de las Cosas (IoT), con su capacidad de recopilación de datos, es un componente clave de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en las ciudades inteligentes. Asimismo, la Inteligencia Artificial (IA) proporciona un conjunto de herramientas vitales para el análisis de datos y la optimización de servicios. Este artículo presenta una discusión sobre el uso de IoT en conjunto con la Inteligencia Artificial para obtener nuevas soluciones de planificación, gestión y servicios en ciudades inteligentes. El análisis se basa en una revisión de la literatura que busca identificar respuestas a preguntas que involucran la planificación urbana de las ciudades, los temas estructurantes de las ciudades inteligentes, las técnicas de IA utilizadas y los datos recopilados. Los resultados encontrados apuntan a una poderosa sinergia entre IoT y AI destinada a desarrollar servicios innovadores, eficaces e integrados para los desafíos de la planificación urbana contemporánea.

Palabras clave: Ciudad Inteligente; Planificación Urbana, Internet de las Cosas; Inteligencia Artificial; Tecnologías de la Información y las Comunicaciones; Revisión de la Literatura.

1 INTRODUÇÃO

A estratégia de tornar as cidades e aglomerados urbanos mais eficientes, visando principalmente melhoria na prestação dos serviços públicos e privados, mais engajamento da sociedade, maior atenção às questões que envolvem sustentabilidade e qualidade de vida dos cidadãos, a partir de estruturas construídas, comumente denominado de cidade inteligente (*smart city*), é uma tendência global (Myeong; Park; Lee, 2022) (Divino; Magalhães, 2024).

Observa-se desde o século dezenove e, de forma mais contundente, ao longo das últimas décadas, que existe uma forte migração que leva a uma concentração da população nos centros urbanos (OECD, 2022; Mulligan; Crampton, 2005). Conforme reportado pelo Banco Mundial em (WORLDBANK, 2024), aproximadamente 56% da população mundial vive hoje em cidades e a tendência de densificação desse espaço deve continuar com uma expectativa de que 7 em cada 10 pessoas (70%) viverão nas cidades até 2050.

Esse movimento migratório de densificação impõe um enorme desafio para o planejamento e a gestão das cidades, bem como aglomerados urbanos de maneira geral. Essa dinâmica migratória, conforme apresentado em Combes e Gobillon (2015), se explica de diversas formas e, de fato, é um movimento sem perspectiva de reversão no curto prazo.

Em resposta ao desafio do planejamento, as cidades e os conglomerados começam a adotar estratégias urbanas e regionais para o enfrentamento dessa concentração populacional, que gera inúmeros desafios nas áreas da administração pública e privada, abrangendo setores como educação, segurança, saúde, mobilidade, moradia; bem como logística na distribuição de energia, água e alimentos, dentre outros (Vandecasteele et al., 2019; Farid et al., 2021a).

Essas estratégias de gestão nas cidades, conforme discutido em Radchenko (2024), tendem a fazer uso intensivo das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) de diferentes formas, facilitando o envolvimento da sociedade. Assim, a governança se torna alternativa viável para resolução de problemas localizados, promovendo a participação de diversos atores e da organização local dos municípios; igualmente contribuindo para o desenvolvimento da região.

As tecnologias aplicadas na governança e na gestão urbana, observando estratégias na busca por uma cidade inteligente são variadas. Esse artigo foca especificamente em duas tecnologias habilitadoras de forte

impacto para as cidades de maneira geral: a Internet das Coisas (IoT) (Mansour et al., 2023) e a Inteligência Artificial (IA) (Szpilko et al., 2023).

A IoT, numa visão de tecnologia, refere-se a uma ampla variedade de dispositivos físicos e lógicos interconectados através de uma infraestrutura de rede de comunicação que permitem a captura, transmissão e compartilhamento de dados (Kumar et al., 2022). Como entendimento alternativo, um sistema ou rede IoT consiste em um conjunto de dispositivos ou nós conectados entre si para comunicação e compartilhamento de informações. A IoT conectada pela Internet escala globalmente de forma significativa com mais de 5 bilhões de dispositivos interconectados, um potencial de crescimento que pode atingir algumas dezenas de bilhões de equipamentos e um potencial de utilização importante, por exemplo, no contexto do planejamento urbano (Lohiya; Thakkar, 2021).

A Internet das Coisas, numa visão de gestão e planejamento de uma cidade inteligente, corresponde, em resumo, ao conjunto de dados produzidos pela cidade que são utilizados para a gestão dos serviços e da infraestrutura da cidade visando, por exemplo, sua eficiência e melhoria da qualidade de vida do cidadão (Figura 1) (Al-Fuqaha et al., 2015; Martins, 2018).

Figura 1 - A Internet das Coisas (IoT) num Arcabouço de Cidade Inteligente



Fonte: adaptado pelos autores (Martins, 2018).

A inteligência artificial é um novo paradigma e tecnologia habilitadora para os serviços de maneira geral que permitem a inovação no contexto das cidades inteligentes. Na perspectiva de uma cidade inteligente, a IA inova agregando principalmente a capacidade de aprendizado, a extração de conhecimento e uma maior autonomia de decisão importantes para a gestão e a prestação de serviços (Szpilko et al., 2023).

Um outro aspecto relevante da utilização da IA nas cidades inteligentes é a sua capacidade de processar uma quantidade muito grande e heterogênea de dados providos dos equipamentos IoT com eficiência. IoT com IA tem o potencial de auxiliar de forma contundente os gestores das cidades com respostas rápidas para problemas

que envolvem o tratamento de grandes volumes de dados e para situações complexas emergenciais ou de calamidade, prevenção de desastres e otimização de recursos da infraestrutura pública urbana, dentre outras.

O objetivo principal deste trabalho é preencher uma lacuna de conhecimento existente para a gestão das cidades inteligentes relativa às soluções de captura de dados com a Internet das Coisas e análise desses dados por meio de abordagens de inteligência artificial. Ao contribuir para o avanço do conhecimento para o planejamento e gestão das cidades, este trabalho espera impactar positivamente o desenvolvimento das cidades inteligentes, sustentáveis e centradas no cidadão.

As contribuições apresentadas são como segue:

1. apresentar uma visão contemporânea de cidade inteligente na perspectiva dos dados, da informação e do conhecimento obtidos com o auxílio da IoT e de métodos e algoritmos de IA;
2. identificar e discutir aspectos do planejamento de cidades inteligentes beneficiados por serviços usando dados IoT e IA; e
3. apresentar aspectos estruturais contemporâneos dos serviços, planejamento e gestão como o *big data*, a segurança, os sistemas IoT e demais serviços associados às cidades inteligentes como a infraestrutura, mobilidade e saúde.

Seguindo a introdução, esse artigo está organizado com a Seção 2 discutindo os fundamentos de uma cidade inteligente e sustentável numa visão contemporânea. A Seção 3 indica os trabalhos correlatos e a Seção 4 apresenta a metodologia da revisão da literatura realizada. A Seção 5 discute o planejamento urbano numa estratégia *big data* e IA e identifica e discute os temas e algoritmos de IA nas cidades inteligentes. Por fim, na Seção 6 são apresentadas as considerações finais.

2 CIDADE INTELIGENTE NA CONTEMPORANEIDADE

Bardet (1988) explica o fenômeno da urbanização, destacando a formação das cidades, a partir da organização ou migração de grupos isolados, em escala humana, concentrando-se em aglomerações a serviço da industrialização. Em transição, o autor recupera que no Egito, na Índia e no Extremo Oriente, a estrutura construída parecia ser unicamente uma sementeira das habitações frágeis, mais ou menos densas ou agrupadas. Hodiernamente, numa perspectiva de progresso e mudança, discute-se (Albino; Berardi; Dangelico, 2015) o conceito de cidade inteligente, inicialmente entendido como uma cidade que utiliza as Tecnologias da Informação e Comunicação ou tecnologias de forma intensiva. Nessa altura, a mera instalação ou utilização de recursos tecnológicos nas cidades tornaria a cidade uma cidade inteligente.

No entanto, essa conceituação e percepção do que vem a ser uma cidade inteligente está em constante evolução, superando discussões do drama urbano mais recente que consiste no conflito entre formas urbanas, caducas e pesadas, e o cidadão (urbano) sempre em renovação. Conforme abordado por Weiss e Perez (2024) e Vandecasteele e outros (2019), numa visão contemporânea e holística, uma cidade inteligente é aquela na qual a inovação, a tecnologia e a governança são utilizadas de forma articulada e integrada. A estratégia de cidade inteligente redefine a governança urbana tradicional visando desenvolver abordagens que possam tornar as cidades mais eficientes, humanas e sustentáveis (Meijer; Bolívar, 2016; Farid et al., 2021b; Albino; Berardi; Dangelico, 2015).

Segundo Albino, Berardi e Dangelico (2015); e Momot e outros (2023), a evolução das cidades e de estruturas urbanas numa perspectiva de cidade inteligente é uma tendência global. A estratégia de cidade inteligente é abrangente em relação aos aspectos que abarca e comporta diferentes visões. Como tal, não existe um consenso sobre um conceito "hermético" do que vem a ser uma cidade inteligente, mas sim um conjunto de definições e visões que exploram a ideia em toda a sua abrangência (Adje et al., 2023).

Na visão da *International Standards Organization* (ISO, 2019), uma cidade inteligente é uma cidade inovadora que faz uso das TICs e de outros recursos para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, a eficiência da operação e dos serviços urbanos, e a competitividade, assegurando ao mesmo tempo o atendimento das necessidades das gerações presentes e futuras com respeito aos aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Já na perspectiva da *International Telecommunications Union - Telecommunications* (ITU-T, 2014), uma cidade inteligente aumenta o ritmo em que melhora sua sustentabilidade e resiliência, melhorando fundamentalmente como ela envolve a sociedade, como aplica métodos de liderança colaborativa, como trabalha em todas as disciplinas e sistemas da cidade e como usa dados e tecnologias integradas para transformar os serviços e a qualidade de vida para quem está e se envolve com a cidade (moradores, empresas, visitantes).

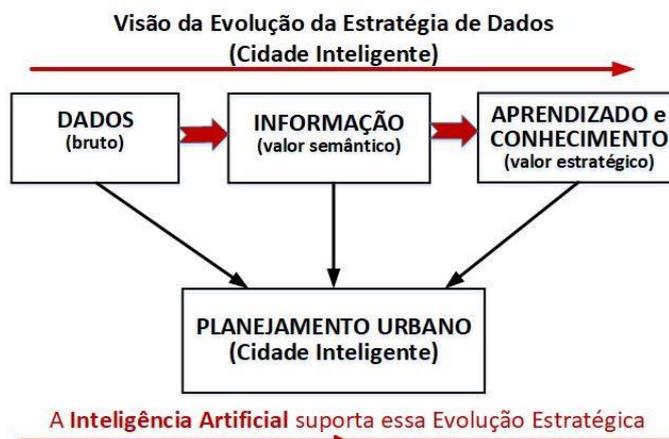
A inter-relação entre o conceito de cidade inteligente com o planejamento regional e urbano das cidades pode, de maneira simplificada, ser observada considerando a visão estrutural da arquitetura de uma cidade inteligente como um arcabouço multinível de funcionalidades e serviços. Observa-se que, na grande maioria dos casos, as estratégias de cidade inteligente são baseadas em arcabouços com camadas de usuários, camada de serviços e uma camada infraestrutura (Figura 1) (Farid et al., 2021b; Martins, 2018). As dimensões do planejamento urbano tais como a proteção ambiental, o desenvolvimento sustentável e viável, a capacidade dos recursos e o crescimento coerente, podem então ser mapeados nos diferentes níveis do arcabouço em termos de suas funcionalidades e seus serviços para uma cidade inteligente (Gracias et al., 2023).

2.1 Uma Visão Estratégica de Dados para as Cidades Inteligentes

Os dados são um insumo essencial numa estratégia de cidade inteligente. Para além desse fato, o uso dos dados no planejamento, na gestão e nos serviços de uma cidade inteligente requer uma visão estratégica e uma abordagem inovadora como ilustrado na Figura 2.

Em efeito, no contexto das cidades inteligentes, existe a necessidade de agregar um maior valor semântico aos dados levando a uma gestão mais inteligente (Engin et al., 2020). Nessa perspectiva, Antoniali e Kira (2020) ressaltam que é fundamental que a administração pública tenha a possibilidade de utilizar dados cada vez mais completos e precisos e Israilidis e outros (2021) fazem uma revisão das cidades inteligentes como centros de informação e repositórios de conhecimento onde os relacionamentos multissetoriais prescindem do desenvolvimento de uma gestão do conhecimento para as cidades inteligentes.

Figura 2 - Uma visão da estratégia da utilização de dados no planejamento e na gestão de uma cidade inteligente



Fonte: adaptada pelos autores (et al., 2024).

Nessa nova perspectiva estratégica, conforme ilustrado na Figura 2, temos os dados básicos capturados e utilizados de diferentes maneiras (IoT e outros métodos) que são comumente denominados de 'dados brutos'. Os dados brutos são então tratados, agrupados ou processados visando a incorporação de um valor semântico que corresponde ao que se denomina de 'informação' ou para a realização de um processo de 'aprendizado' que resulta na obtenção de um 'conhecimento'.

Nesse ponto, é importante distinguir as diferenças em termos de valor semântico entre a 'informação' e o 'conhecimento' obtidos através do processamento de um conjunto de dados brutos numa cidade inteligente.

A informação é obtida tipicamente através de métodos estatísticos ou de IA supervisionado ou não supervisionado que, basicamente, agrupam os dados e inferem ou determinam algum tipo de resultado. A título de exemplo, a contagem do número de turistas num determinado ponto de uma cidade inteligente é uma informação que pode ser utilizada de diferentes formas no planejamento e na gestão da cidade. Por outro lado, a avaliação da satisfação dos turistas obtida a partir de um conjunto de variáveis capturadas ao longo do tempo requer um 'aprendizado' que resulta num 'conhecimento' que pode variar ao longo do tempo e depende de um conjunto dinâmico de fatores.

O aprendizado e geração de conhecimento na IA no estilo específico mencionado é realizado por um conjunto de algoritmos que, de forma semelhante aos seres humanos, aprendem com o processo. Um dos conjuntos de algoritmos de IA mais utilizados que aprendem e são capazes de gerar conhecimento é o aprendizado por reforço (*Reinforcement Learning* - RL) (Sutton; Barto, 2017). Esse arcabouço torna-se importante elemento de tecnologias aplicadas para governança e gestão de estruturas construídas para o cidadão.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Em relação aos trabalhos relacionados, foram identificadas publicações com objetivos semelhantes ao desse artigo.

Nguyen e outros (2024) apresentam uma revisão da literatura com ênfase na conceituação de cidades inteligentes seguida de um levantamento de soluções existentes para tópicos como energia inteligente, saúde

inteligente e casa inteligente, dentre outros. Essa revisão difere da apresentada nesse artigo pelo foco nas áreas de cidade inteligente e não na integração da IoT com IA. Por sua vez, Alahi e outros (2023) apresentam uma revisão da literatura que considera, como nessa revisão, a integração da IoT com a inteligência artificial. O trabalho de Alahi e outros (2023) difere da revisão apresentada nesse artigo pelo fato de focar a discussão no conjunto de tecnologias de rede sem fio (WiFi, 4G, 5G, outras) que suportam a comunicação entre dispositivos IoT numa cidade inteligente.

Outros trabalhos relacionados incluem a revisão da literatura feita por Szpilko e outros (2023) que apresentam uma classificação das contribuições da inteligência artificial para as cidades inteligentes como um todo e identifica direções emergentes para investigação futura. Por sua vez, a análise bibliométrica (João et al. 2020) analisa a literatura acadêmica atual sobre cidades inteligentes focando no papel da Internet das Coisas no contexto.

Myeong e outros (2022) no estudo apresentado conduzem uma revisão sistemática de estudos relacionados às cidades inteligentes agrupando-os em métodos e conteúdo de pesquisa. Finalmente, no trabalho apresentado por Shafique e outros (2020), os autores apresentam uma análise comparativa e uma revisão detalhada da Internet das Coisas, cobrindo suas tendências estatísticas e arquitetônicas, casos de uso, desafios e perspectivas futuras.

4 METODOLOGIA DA REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura feita nesse artigo utiliza um conjunto de procedimentos metodológicos conforme definido em Kitchenham (2004). A revisão visa responder perguntas no contexto das cidades inteligentes onde a geração de dados com IoT é tratada utilizando algoritmos de inteligência artificial.

1. Existem abordagens visando o planejamento de cidades inteligentes fazendo uso da Internet das Coisas com a Inteligência Artificial?

2. Quais os temas envolvendo IoT e IA no contexto das cidades inteligentes são mais recorrentes?

A revisão sistemática utilizou quatro (4) bases de dados como fonte de artigos:

1. ACM *Digital Library*;
2. IEEE *Digital Library*;
3. *Science@Direct*; e
4. *Springer Link*.

Os critérios de inclusão abrangem os artigos que abordem simultaneamente os temas de Internet das Coisas e Cidades Inteligentes e algoritmos ou arcabouços de Inteligência Artificial ou Aprendizado de Máquina. A *string* básica de busca utilizada é a seguinte:

(“*Internet of Things*” OR “IoT”) AND (“*Machine Learning*” OR “*Artificial Intelligence*” OR “*Deep Learning*”) AND (“*Smart Cities*” OR “*Smart City*”)

A revisão buscou os artigos disponíveis na literatura entre os anos de 2015 até março de 2024. O processo de pesquisa e seleção dos trabalhos tem cinco etapas e resultou no quantitativo de artigos por etapa conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da Busca e Seleção de Artigos

Base de Dados	1a Etapa	2a Etapa	3a Etapa	4a Etapa	5a Etapa
<i>Google Scholar</i>	60	42	29	27	15
<i>ACM Digital Library</i>	299	296	10	8	2
<i>IEEE Digital Library</i>	403	291	35	35	16
<i>Science@Direct</i>	300	192	23	23	11
<i>Springer Link</i>	790	692	26	26	9
Total	1852	1450	119	119	53

A primeira etapa da revisão corresponde à busca nas bases de dados científicas descritas anteriormente usando a *string* de busca criada. O resultado da pesquisa foi salvo usando o gerenciador de referências Zotero e posteriormente documentado e processado usando a ferramenta Parsifal nas etapas seguintes. A segunda etapa consistiu na remoção dos artigos duplicados.

Na terceira e quarta etapas foram removidos os artigos fora de escopo considerando os seguintes critérios de exclusão:

- Terceira Etapa: Títulos fora do escopo dessa pesquisa
- Quarta Etapa: *Abstracts* fora do escopo dessa pesquisa

Por fim, na quinta etapa, foi feita uma avaliação de relevância da publicação considerando o artigo como um todo e levando em conta as questões como segue:

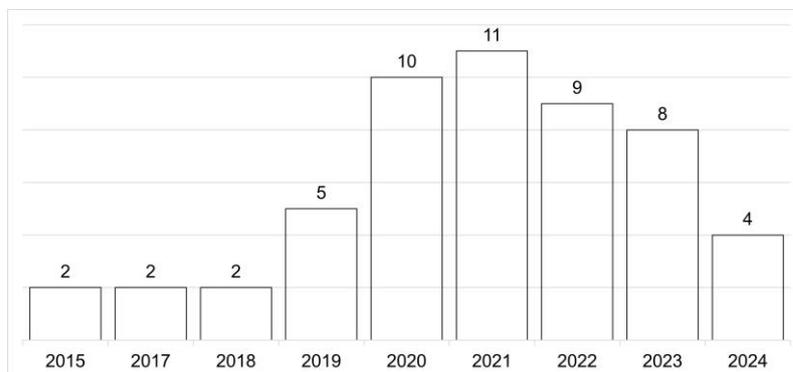
1. O estudo avaliado agrega valor aos objetivos desse artigo?
2. As questões de pesquisa estão claras no artigo?
3. São relatados trabalhos com base em opiniões de especialistas?
4. É claro o contexto em que o artigo foi aplicado ou onde a pesquisa foi realizada?
5. Os métodos utilizados são claramente descritos na análise dos resultados?

5 RESULTADOS DA REVISÃO DA LITERATURA

Em seguida é feita uma discussão e análise dos principais resultados da revisão da literatura realizada considerando a utilização da inteligência artificial no processamento de dados coletados com dispositivos IoT no contexto das cidades inteligentes.

A Figura 3 ilustra o número de publicações a cada ano abrangendo a temática escolhida de IoT com IA nas cidades inteligentes. Observa-se um aumento acentuado do número de artigos publicados nos anos de 2020 a 2022. A quantidade de artigos nesses anos corresponde a 31 artigos, 57,4% do total de publicações encontradas para a temática. De maneira geral, o quantitativo geral é ainda pequeno, quando comparado com outras temáticas como a IoT como um todo e, na nossa percepção, indica uma oportunidade de melhor explorar a utilização da IA com grande volume de dados para as cidades inteligentes.

Figura 3 - Quantidade Anual de Artigos - Dados IoT com IA em Cidades Inteligentes



5.1. PLANEJAMENTO DE CIDADES INTELIGENTES COM A INTERNET DAS COISAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Tabela 2 apresenta os temas de cidades inteligentes abordados pelos artigos selecionados. Observa-se que 25% dos artigos selecionados na revisão da literatura abordam o processamento de dados IoT com IA no contexto do planejamento de cidades inteligentes. Esse indicador (25%) sinaliza que existe efetivo interesse da comunidade em investigar as vantagens e desvantagens da utilização da inteligência artificial no tratamento de grandes volumes de dados (*big data*) no contexto do planejamento urbano. De forma a ilustrar e exemplificar essa percepção, apresenta-se algumas soluções de planejamento de cidade inteligente.

Tabela 2 - Temas de cidades inteligentes distribuídos por artigos

Tema do Artigo	Artigo
Planejamento de Cidade Inteligente (<i>smart urban planning</i>)	(Bakhshi; Ahmed, 2018), (Majumdar et al., 2021), (Forkan et al., 2024) (Wang et al., 2021), (Nguyen; Nawara; Kashef, 2024), (Cepeda-Pavheco; Domingo, 2022), (Alahi et al., 2023), (Mohammadi et al., 2017), (Ullah et al., 2024), (Ale et al., 2021), (Bokhari; Myeong, 2023), (Rajkumar et al., 2024), (Chin; Callaghan; Lam, 2017), (Band et al., 2022)
Segurança Inteligente (<i>smart security</i>)	(Manickam et al., 2023), (Vinayakumar et al., 2020), (Singh; Jeong; Park, 2020), (Alrashdi et al., 2019), (Rashid et al., 2022), (Rashid et al., 2020), (Tahsin et al., 2021), (Al-Jabbar et al., 2023), (Jagatheesaperumal et al., 2022), (Andrade et al., 2022), (Li et al., 2019), (Shen et al., 2019), (Serrano, 2021)
Sistemas IoT	(Bakhshi; Ahmed, 2018), (Guo et al., 2018), (Rajkumar et al., 2024), (Ale et al., 2021), (Vinayakumar et al., 2020), (Qolomany et al., 2020), (Wu et al., 2020) (Nakip et al., 2021)
<i>Big Data</i>	(Li et al., 2021), (Ullah et al., 2024), (Mohammadi et al., 2017), (Tang et al., 2015), (Li et al., 2022), (Alahakoon et al., 2022), (Nasif; Othman; Sani, 2021)
Infraestrutura de Rede Inteligente (<i>smart infrastructure</i>)	(Hammed; Violos; Leivadeas, 2022), (Manzanilla-Salazar et al., 2020), (Ale et al., 2021), (Miladinovic; Scheffer-Wenzl; Hirner, 2019), (Sharma; Haque; Blaabjerg, 2021), (Sefati et al., 2023), (Asha et al., 2023)
Mobilidade Inteligente (<i>smart mobility</i>)	(Prakash et al., 2024), (Majumdar et al., 2021), (Roy; Jana; Mishra, 2024)

Saúde Inteligente (<i>smart healthcare</i>)	(Li et al., 2021), (Chen et al., 2020), (Rathi et al., 2021), (Ghazal et al., 2021)
Energia Inteligente (<i>smart energy</i>)	(Liu et al., 2019)
Gestão de Resíduos Inteligente (<i>smart waste management</i>)	(Belsare; Singh, 2022), (Bakhshi; Ahmed, 2018)
Indústria Inteligente (<i>Industrial IoT - IIoT</i>)	(Qolomany et al., 2020), (Magaia et al., 2020)
Revisão da Literatura (cidade inteligente, IoT, IA, <i>Big Data</i>)	(Heidari; Navimipour; Unal, 2022), (Li et al., 2021), (Alfuqaha et al., 2015), (Belsare; Singh, 2022), (Band et al., 2022), (Alahi et al., 2023), (Nguyen; Nawara; Kashef, 2024), (Singh et al., 2020)
Enquete	(Magaia et al., 2020), (Bokhari; Myeong, 2023)

Bakhshi e Ahmed (2018) abordam uma resposta de monitoramento de resíduos baseada em IoT que combinada a análise de dados capturados no campo para o planejamento de uma coleta eficiente de resíduos que otimiza a movimentação de veículos.

Por sua vez, Majumdar e outros (2021) recuperam o problema de gerenciamento inteligente do congestionamento de veículos permitindo que os usuários das estradas evitem áreas congestionadas, diminuindo a concentração de poluentes. A abordagem faz uso de redes neurais para processar informações capturadas com sensores IoT de tráfego e velocidade para prever a propagação de congestionamentos.

A manutenção da infraestrutura viária é o foco de Forkan e outros (2024). A solução implementa uma estratégia de manutenção proativa da infraestrutura em toda a cidade, incluindo infraestruturas rodoviárias, como sinalização rodoviária e limpeza de lixo despejado ilegalmente. A solução, baseada em aprendizado profundo (*deep learning*), se sobrepõe ao planejamento urbano clássico onde as tarefas de manutenção dependem predominantemente de relatórios de cidadãos ou de verificações no local.

Cepeda-Pacheco and Domingo em (2022) abordam a questão dos destinos turísticos inteligentes (DTIs) (França; Martins; Filho, 2024). Nesta altura, é proposto um sistema de recomendação que usa um algoritmo de aprendizado profundo alimentado com dados IoT de atrações turísticas para aprimorar a experiência do turista em uma cidade inteligente.

Ullah e outros (2024) abordam de maneira sistêmica o planejamento de sistemas IoT numa cidade inteligente. Os autores abordam de maneira didática o conceito de cidades inteligentes apresentando os seus subsistemas típicos e o papel da Internet das Coisas e do aprendizado de máquina na criação de um ambiente inteligente centrado em dados.

Governança é o desafio tratado por Bokhari e Myeong (2023), já manifestado nos projetos de migrações industriais, bem como preocupações higienistas na cidade modelo de Victoria, segundo Bardet (1988), fundada na cooperação "do trabalho, do saber e do capital". Aqueles autores ainda abordam fatores contextuais como a Internet das Coisas e a governança inteligente, que mediam a relação entre a IA e a tomada de decisões inteligentes. Investiga-se as interações de disputas diretas, mediadoras e paralelas-sequenciais múltiplas entre IA, IoT, governança inteligente e tomada de decisão inteligente.

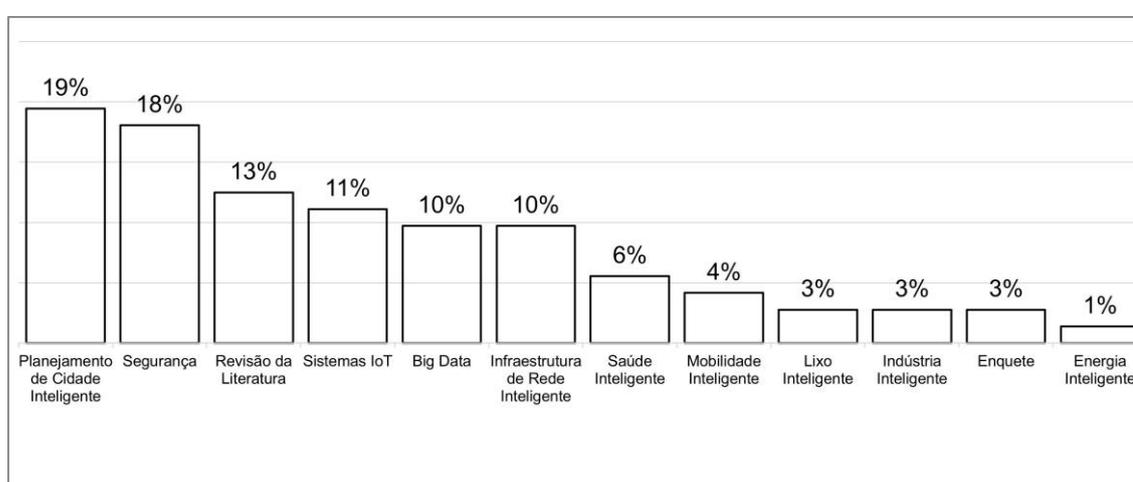
Wang e outros (2021), Alahi e outros (2023), e Nguyem e outros (2024) apresentam revisões da literatura abordando respectivamente a integração de sistemas IoT com a IA, apontam alguns desafios não resolvidos com a adoção de tecnologias de IoT baseadas em IA e os desafios de adoção da Internet das Coisas e da inteligência artificial para cidades inteligentes na China.

5.2. TEMAS MAIS RECORRENTES DE CIDADES INTELIGENTES

Outra questão investigada nesse artigo é a identificação dos temas que foram mais abordados sobre cidades inteligentes. A Figura 4 e a Tabela 2 apresentam, respectivamente, a frequência relativa e os artigos encontrados por tema.

O tema de cidade inteligente mais presente no conjunto de artigos selecionados é a segurança com aproximadamente 23% do total. Isso decorre principalmente do fato que a dependência de dispositivos da Internet das Coisas torna as cidades inteligentes mais vulneráveis à ataques cibernéticos que podem levar a interrupções significativas e ameaças à segurança.

Figura 4 - Temas abordados para as cidades inteligentes



Fonte: elaborada pelos autores

5.2.1. Segurança com IoT e IA

Serrano (2021) utiliza um método de autenticação com a tecnologia *blockchain* para mitigar a vulnerabilidade aos ataques decorrentes da utilização da telefonia móvel 5G no contexto das cidades inteligentes. Por sua vez, Shen e outros (2019) consideram um método de preservação de privacidade de dados em cidades inteligentes e utilizados no treinamento de IA com uso do *blockchain*. Já Singh e outros (2020) propõem uma infraestrutura CPS (*cyber-physical system*) orientada à IoT que utiliza o *blockchain* na comunicação.

As soluções de segurança IoT em cidades inteligentes que abordam ataques são tratadas por Vinahakumar e outros (2020) com a detecção de *botnets* (Alrashdi et al., 2019) onde apresenta-se um sistema de detecção de anomalia capaz de detectar equipamento IoT infectados. Manickam e outros (2023) também identificam ataques usando detecção de anomalias.

Rashid e outros (2022) apresentam um sistema de detecção de intrusão (IDS) para identificar ataques do tipo 'ataque adversário' e Al-Jabbar e outros (2023) apresentam um sistema de detecção de intrusão que foca no processamento de imagens obtidas através de dispositivos IoT. Outra abordagem de detecção de intrusão é apresentada por Li e outros (2019) e por Rashid e outros (2020) que abordam a questão dos ataques cibernéticos detectados com algoritmos de IA.

Em relação à segurança dos dados, Tahsim e outros (2021) propõem um modelo de segurança que garante a segurança de dados para dispositivos de IoT com base na perspectiva de uma cidade inteligente.

A questão da 'explicabilidade' das soluções de IA (*eXplainable Artificial Intelligence - XAI*) é abordada no contexto da IoT por Jagatheesaperumal e outros (2022). Esse aspecto é de grande importância para segmentos das cidades inteligentes como a área da saúde e a área industrial onde as decisões aportadas pelos algoritmos de IA precisam ser documentadas e, de certa forma, explicadas.

Andrade e outros (2022) abordam a análise de risco feita por gestores visando a identificação de alvos mais importantes em relação a ataques cibernéticos nas estruturas de cidade inteligente.

5.2.2. Sistemas IoT

Os artigos selecionados sobre sistemas IoT abordam aspectos de heterogeneidade dos equipamentos IoT juntamente com estratégias de processamento dos dados IoT em diferentes tipos de estruturas de nuvem para as cidades inteligentes.

Existe uma proposição de solução para o problema de semântica heterogênea entre equipamentos IoT visando o suporte de serviços inteligentes (Guo et al., 2018). Já Rajkumar e outros (2024) exploram a precisão de equipamentos IoT ópticos que, segundo os autores, permite um maior nível de precisão nas medições utilizadas para aplicações de cidades inteligentes.

A questão da descentralização do processamento necessário com a utilização da IoT é abordada por Ale e outros (2021) e visam reduzir a latência numa estratégia de computação de borda (*edge computing*) em cidade inteligente. Já Wu e outros (2020), propõem uma estratégia para a distribuição e alocação de tarefas com utilização integrada de *Mobile Cloud Computing* (MCC) e *Mobile Edge Computing* (MEC) para suportar aplicações com utilização massiva de dados IoT em cidades inteligentes.

Por sua vez, Qolomany e outros (2020) propõem um modelo de computação confiável de dados IoT em nuvem para aplicações industriais e aplicações de cidades inteligentes e Nakip e outros (2021) desenvolvem uma arquitetura de seleção e previsão de recursos para redes preditivas orientadas para a IoT.

5.2.3. Big Data com IoT e IA

O processamento do grande volume de dados (*big data*) capturados com equipamentos IoT é um desafio nas cidades inteligentes que apresenta diversos aspectos de infraestrutura, comunicação e de processamento, alguns dos quais, são abordados pelos artigos selecionados nessa revisão da literatura.

Ullah e outros (2024) discutem um ambiente IoT com IA centrado em dados e expõe uma visão geral das aplicações de cidades inteligentes. Já Tang e outros (2015) apresentam uma arquitetura *Fog Computing* hierárquica e distribuída para integração de um número massivo de sensores e aquisição de grandes volumes de dados em cidades inteligentes. Os autores apresentam também um sistema de monitoramento de gasoduto inteligente baseado em sensores IoT de fibra óptica como estudo de caso.

Mohammadi e outros (2017) abordam a questão do treinamento de agentes inteligentes propondo um modelo de aprendizado por reforço profundo semi supervisionado apropriado para as aplicações de cidades

inteligentes com dados rotulados e não rotulados. Já Alahakoon e outros (2022) propõem mecanismo de IA de auto-organização para habilitar a análise de grandes volumes de dados dinâmicos nas cidades inteligentes.

Li e outros (2022) discutem a análise de grandes volumes de dados usando uma estratégia de gêmeos digitais para a simulação de uma cidade inteligente. Os autores simulam e analisam o desempenho do sistema e a eficiência energética da transmissão de dados do modelo. Já Nasif e outros (2021) abordam o problema importante de memória em equipamentos IoT com a utilização de métodos de compressão para a redução do volume de dados nas comunicações e no armazenamento.

5.2.4. Infraestrutura de Rede Inteligente

A questão da incorporação de inteligência na infraestrutura de rede usada pelas cidades inteligentes é abordada por 13% dos artigos. Esse é um tópico fortemente atrelado à área de computação que, em resumo, busca tornar as infraestruturas de redes que apoiam as cidades inteligentes mais dinâmicas e flexíveis no que diz respeito ao atendimento das necessidades dos usuários distribuídos numa cidade ou região.

Hameed e outros (2022) propõem um mecanismo de classificação de tráfego IoT que visa a otimização da operação da infraestrutura de rede numa cidade inteligente. Já Manzanilla-Salazar e outros (2020) abordam a questão de falhas na infraestrutura de telefonia básica quando usada como suporte para a comunicação entre dispositivos IoT. É proposto uma abordagem para o acesso às estações rádio-base levando em conta falhas na sua operação.

Ale e outros (2021) propõem uma abordagem para a distribuição de tarefas numa estratégia de *Mobile Edge Computing* (MEC) que é necessária na infraestrutura de suporte de equipamentos IoT dado o grande volume de dados e tarefas envolvidas. Miladinovic e outros (2019) propõem uma arquitetura IoT para cidades inteligentes que usa a estratégia de Redes Definidas por Software (SDN) para a alocação de aplicativos entre nós *Multi-Access Edge Computing* (MEC) e a nuvem.

Sefati e outros (2023) apresentam uma solução para o problema de descoberta e composição de serviços de IoT em cidades inteligentes que garantem nível de qualidade de serviço para as aplicações dos usuários. Já Asha e outros (2023) discutem um método de projeto para desenvolvimento de serviços IoT de cidade inteligente fazendo uso de redes de sensores sem fio.

Finalmente, Sharma e outros (2021) elaboram uma revisão da literatura sobre a aplicação de métodos de inteligência artificial para as redes de sensores sem fio IoT de baixo consumo de energia para cidades inteligentes.

5.2.5. Mobilidade, Saúde, Energia, Gestão de Resíduos e Industria Inteligentes

Um conjunto de artigos representando aproximadamente 23% dos artigos selecionados abordam áreas específicas de segmentação da estratégia de cidades inteligentes tais como mobilidade, saúde, energia, resíduos e indústria.

Com relação à mobilidade urbana, os artigos selecionados abordam fundamentalmente a questão de veículos e tráfego nas cidades inteligentes. O artigo apresentado por Prakash e outros (2024) estuda as causas e efeitos do congestionamento de tráfego e oferece recomendações para aliviar o problema, a partir de proposição de um sistema de gerenciamento inteligente que permite que os usuários evitem áreas congestionadas, diminuindo

a concentração de poluentes (Majumdar et al., 2021). Já Roy e outros (2024) tratam da otimização da rota de veículos.

A temática da saúde tem destaque nas cidades inteligentes já que se alinha com um dos seus objetivos que é promover o bem-estar do cidadão. Li e outros (2021) e Ghazal e outros (2021) colocam uma revisão da literatura sobre sistemas inteligentes de saúde com análise de *big data* baseada em aprendizado de máquina e habilitados para IoT. Por sua vez, Chen e outros (2020) apresentam um modelo para o diagnóstico de hemorragia cerebral com base na Internet das Coisas num contexto de cidades inteligentes.

A questão da gestão do lixo em cidades inteligentes é abordada por Belsare e Singh em (2022) que disponibilizam modelos de gerenciamento de resíduo com base na infraestrutura de IoT. Por sua vez, Bakhshi e Ahmed (2018) apresentam uma solução de monitoramento de resíduos baseada em IoT, combinada com análise de dados de *backend* para coleta eficiente de resíduos.

5.2.6. Revisões Correlatas da Literatura

Nessa revisão da literatura foram encontrados seis artigos que abordam de forma diferenciada em relação a esse artigo os tópicos IoT, *big data* e inteligência artificial.

A revisão apresentada por Li e outros (2021) aborda especificamente a questão de análise de dados IoT na perspectiva da área de saúde. Por sua vez, Band e outros (2022) faz uma revisão da literatura focando na utilização do aprendizado de máquina para os serviços de cidade inteligente de maneira geral.

No caso da revisão da literatura feita por Heidari e outros (2022) é discutido especificamente a utilização do aprendizado de máquina para a governança e gestão de cidades inteligentes. Al-Fuqaha e outros (2015), por seu turno, fazem uma revisão e análise com foco na utilização de diferentes tecnologias de rede sem fio (WiFi, 3G, 4G, outras) com a IoT.

Belsare e Singh (2022) abordam a utilização de dispositivos IoT para a gestão inteligente de resíduos em cidades inteligentes. Finalmente, Singh e outros (2020) apresentam uma revisão mais focada na utilização do *blockchain* com IA no contexto de cidade inteligente.

É importante ressaltar que essas revisões da literatura são efetivamente complementares em relação à apresentada nesse artigo pois tratam de aspectos específicos da IoT e da IA que fogem ao escopo e à abrangência do assunto apresentado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa discussão sobre as cidades Inteligentes na contemporaneidade com a Internet das Coisas acoplada aos recursos da Inteligência Artificial observou-se que, para além da utilização independente da IoT e da IA, existe um conjunto de serviços que buscam agregar as vantagens da utilização da inteligência artificial como uma estratégia capaz de criar valor adicional para os dados brutos capturados em massa por dispositivos IoT.

Em retrospectiva, esta breve discussão recuperou a questão da concentração em certos pontos no espaço, urgindo a ciência da organização das massas sobre o solo e toda a complexidade que apontaria para a formação das cidades. Numa perspectiva de cidade inteligente contemporânea, observa-se que a IA tem o potencial de tratar dados IoT gerando serviços mais eficientes e de maior valor agregado.

Igualmente, a abordagem de IoT com IA gerando novos serviços, atende e aprimora não somente o planejamento urbano das cidades, aqui, vistas para além de um agrupamento de ruas e casas e sim estruturas que promovem cooperação entre gerações de habitantes. IoT com IA cria novos serviços ditos inteligentes nas áreas estruturantes do arcabouço de uma cidade tais como a segurança, a mobilidade urbana, a saúde, a infraestrutura de comunicação, e a gestão de resíduos, dentre outras.

A ciência da informação e suas tecnologias aplicadas é um campo vasto e dinâmico, com inúmeras contribuições ao longo da história que transformaram a compreensão do mundo e possibilitaram inovações que impactaram profundamente a sociedade. Observa-se, como uma das principais contribuições apresentadas, que existe uma poderosa sinergia entre a inteligência artificial e a IoT que permite o desenvolvimento de novos serviços inovadores, eficazes e integrados para o enfrentamento dos desafios do planejamento urbano e da gestão de uma cidade inteligente.

Artigo submetido para avaliação em 01/10/2024 e aceito para publicação em 19/02/2025

REFERÊNCIAS

- ADJE, K. D. C. et al. Smart City Based on Open Data: A Survey. **IEEE Access**, v. 11, p. 56726–56748, 2023.
- AL-FUQAHA, A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015.
- AL-JABBAR, M. et al. Ebola optimization with modified DarkNet-53 model for scene classification and security on Internet of Things in smart cities. **Alexandria Engineering Journal**, v. 75, p. 29–40, 2023.
- ALAHAKOON, D. et al. Self-Building Artificial Intelligence and Machine Learning to Empower Big Data Analytics in Smart Cities. **Information Systems Frontiers**, v. 25, n. 1, p. 221–240, 2022.
- ALAHY, M. E. E. et al. Integration of IoT-enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: recent advancements and future trends. **Sensors**, v. 23, n. 11, p. 5206, 2023.
- 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.
- ALE, L. et al. Spatio-temporal Bayesian Learning for Mobile Edge Computing Resource Planning in Smart Cities. **ACM Trans. Internet Technol.**, v. 21, n. 3, 2021.
- ALRASHDI, I. et al. Ad-iot: Anomaly detection of iot cyberattacks in smart city using machine learning. In: Computing and Communication Workshop and Conference. **Proceedings**, 2019. p. 0305–0310.
- ANDRADE, R. O. et al. **Integration of AI and IoT Approaches for Evaluating Cybersecurity Risk on Smart City**, 2022. p. 305–333.
- ANTONIALLI, D. M.; KIRA, B. Planejamento urbano do futuro, dados do presente: a proteção da privacidade no contexto das cidades inteligentes. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 22, p.e202003, 2020.
- ASHA, A. et al. Optimized RNN-based performance prediction of IoT and WSN-oriented smart city application using improved honey badger algorithm. **Measurement**, v. 210, p. 112505, mar. 2023.

BAKSHI, T.; AHMED, M. IoT-enabled smart city waste management using machine learning analytics. In: 2nd international conference on energy conservation and efficiency (ICECE). **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2018. p. 66–71.

BAND, S. S. et al. When Smart Cities Get Smarter via Machine Learning: An In-Depth Literature Review. **IEEE Access**, v. 10, p. 60985–61015, 2022.

BARDET, G. **L'Urbanisme**. Paris: Presses Universitaire de France, 1988. v. 13ème.

BELSARE, K. S.; SINGH, M. Various Frameworks for IoT-Enabled Intelligent Waste Management System Using ML for Smart Cities. In: **Mobile Computing and Sustainable Informatics**. Singapore: [s.n.], 2022. v. 126, p. 797–817. ISBN 978-981-19206-8-4 978-981-19206-9-1.

BOKHARI, S. A. A.; MYEONG, S. The Impact of AI Applications on Smart Decision-Making in Smart Cities as Mediated by the Internet of Things and Smart Governance. **IEEE Access**, v. 11, p. 120827–120844, 2023.

CEPEDA-PACHECO, J. C.; DOMINGO, M. C. Deep learning and Internet of Things for tourist attraction recommendations in smart cities. **Neural Computing and Applications**, v. 34, n. 10, p. 7691–7709, maio 2022.

CHEN, H. et al. A smart machine learning model for the detection of brain hemorrhage diagnosis based internet of things in smart cities. **Complexity**, v. 2020, p. 1–10, 2020.

CHIN, J.; CALLAGHAN, V.; LAM, I. Understanding and personalising smart city services using machine learning, The Internet-of-Things and Big Data. In: 2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial (ISIE). **Proceedings...** [s.n.], 2017. p. 2050–2055.

COMBES, P.-P.; GOBILLON, L. Chapter 5 - The Empirics of Agglomeration Economies. In: DURANTON, G.; HENDERSON, J. V.; STRANGE, W. C. (Ed.). **Handbook of Regional and Urban Economics**. [S.l.: s.n.], 2015. v. 5, p. 247–348

DIVINO, S.; MAGALHÃES, R. **Cidades Inteligentes Sustentáveis: Estratégias para Implementação e Efetivação**. v. 15, p. 1747–1771, 2024.

ENGIN, Z. et al. Data-Driven Urban Management: Mapping the Landscape. **Journal of Urban Management**, v. 9, n. 2, p. 140–150, 2020.

FARID, A. M. et al. Smart City Drivers and Challenges in Energy and Water Systems. **IEEE Potentials**, v. 40, n. 1, p. 6–10, jan. 2021.

FARID, A. M. et al. Smart City Drivers and Challenges in Urban-Mobility, Health-Care, and Interdependent Infrastructure Systems. **IEEE Potentials**, v. 40, n. 1, p. 11–16, 2021.

FONTES, C. L. A. et al. Exploring the Role of Technological Innovations in Smart Tourism Destinations. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, 2024. Manuscrito submetido para publicação.

FORKAN, A. R. M. et al. AIoT-CitySense: AI and IoT-Driven City-Scale Sensing for Roadside Infrastructure Maintenance. **Data Science and Engineering**, v. 9, n. 1, p. 26–40, mar. 2024.

FRANÇA, K. D. L. d.; MARTINS, L. M.; FILHO, L. A. M. Destinos Turísticos Inteligentes: um estudo sobre a percepção dos Stakeholders da Iniciativa Privada. **Revista de Turismo Contemporâneo**, v. 12, n. 2, p. 208–230, 2024.

GHAZAL, T. M. et al. IoT for smart cities: Machine learning approaches in smart healthcare—A review. **Future Internet**, v. 13, n. 8, p. 218, 2021.

GRACIAS, J. S. et al. Smart Cities A Structured Literature Review. **Smart Cities**, v. 6, n. 4, p. 1719–1743, 2023.

- GUO, K. et al. Artificial intelligence-based semantic internet of things in a user-centric smart city. **Sensors**, v. 18, n. 5, p. 1341, 2018.
- HAMEED, A.; VIOLOS, J.; LEIVADEAS, A. A Deep Learning Approach for IoT Traffic Multi-Classification in a Smart-City Scenario. **IEEE Access**, v. 10, p. 21193–21210, 2022.
- HEIDARI, A.; NAVIMIPOUR, N. J.; UNAL, M. Applications of ML/DL in the management of smart cities and societies based on new trends in information technologies: A systematic literature review. **Sustainable Cities and Society**, v. 85, p. 104089, 2022.
- ISO. **Sustainable Cities and Communities — Indicators for Smart Cities**. [S.l.], 2019.
- ISRAILIDIS, J.; ODUSANYA, K.; MAZHAR, M. U. Exploring Knowledge Management Perspectives in Smart City Research: A Review and Future Research Agenda. **International Journal of Information Management**, v. 56, p. 101989, 2021.
- ITU-T, T. S. **Smart Sustainable Cities: An Analysis of Definitions**. [S.l.], 2014. 71 p. Disponível em: https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Documents/Approved_Deliverables/TR-Definitions.docx.
- JAGATHEESAPERUMAL, S. K. et al. Explainable AI Over the Internet of Things (IoT): Overview, State-of-the-Art and Future Directions. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 3, p. 2106–2136, 2022.
- JOÃO, B. D. N.; SOUZA, C. L. D.; SERRALVO, F. A. A Systematic Review of Smart Cities and the Internet of Things as a Research Topic. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 17, p.1115–1130, 2020.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele Univ.**, v. 33, 08 2004.
- KUMAR, R. et al. IoT Network Traffic Classification Using Machine Learning Algorithms: An Experimental Analysis. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 2, p.989–1008, 2022.
- LI, D. et al. IoT data feature extraction and intrusion detection system for smart cities based on deep migration learning. **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 533–545, dez. 2019.
- LI, W. et al. A Comprehensive Survey on Machine Learning-Based Big Data Analytics for IoT-Enabled Smart Healthcare System. **Mobile Networks and Applications**, v. 26, n. 1, p. 234–252, 2021.
- LI, X. et al. Big data analysis of the internet of things in the digital twins of smart city based on deep learning. **Future Generation Computer Systems**, v. 128, p. 167–177, 2022.
- LIU, Y. et al. Intelligent Edge Computing for IoT-Based Energy Management in Smart Cities. **IEEE Network**, v. 33, n. 2, p. 111–117, 2019.
- LOHIYA, R.; THAKKAR, A. Application Domains, Evaluation Data Sets, and Research Challenges of IoT: A Systematic Review. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 11, p. 8774–8798, jun. 2021.
- MAGAIA, N. et al. Industrial internet-of-things security enhanced with deep learning approaches for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 8, p. 6393–6405, 2020.
- MAJUMDAR, S. et al. Congestion prediction for smart sustainable cities using IoT and machine learning approaches. **Sustainable Cities and Society**, v. 64, p. 102500, 2021.
- MANICKAM, P. et al. Billiard based optimization with deep learning driven anomaly detection in internet of things assisted sustainable smart cities. **Alexandria Engineering Journal**, v. 83, p. 102–112, 2023.
- MANSOUR, M. et al. Internet of Things: A Comprehensive Overview on Protocols, Architectures, Technologies, Simulation Tools, and Future Directions. **Energies**, v. 16, n. 8, p. 3465, 2023.

- MANZANILLA-SALAZAR, O. G. et al. A Machine Learning Framework for Sleeping Cell Detection in a Smart-City IoT Telecommunications Infrastructure. **IEEE Access**, v. 8, p. 61213–61225, 2020.
- MARTINS, J. S. B. Towards Smart City Innovation Under the Perspective of Software- Defined Networking, Artificial Intelligence and Big Data. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 8, n. 2, p. 1–7, 2018. ISSN 2237-5104.
- MEIJER, A.; BOLÍVAR, M. P. R. Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. **International Review of Administrative Sciences**, v. 82, n. 2, p. 392–408, jun. 2016.
- MILADINOVIC, I.; SCHEFER-WENZL, S.; HIRNER, H. IoT Architecture for Smart Cities Leveraging Machine Learning and SDN. In: 2019 27th Telecommunications. **Proceedings...**[S.l.: s.n.], 2019. p. 1–4.
- MOHAMMADI, M. et al. Semisupervised Deep Reinforcement Learning in Support of IoT and Smart City Services. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 2, p. 624–635, 2017.
- MOMOT, T. et al. Sustainable Roadmap to Global Smart Cities: A Comparative Analysis of Smart City Strategic Plans. In: **Smart Technologies in Urban Engineering**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 3–13. ISBN 978-3-031-46877-3.
- MULLIGAN, G.; CRAMPTON, J. Population Growth in the World’s Largest Cities. **Cities**, v. 22, p. 365–380, 2005.
- MYEONG, S.; PARK, J.; LEE, M. Research Models and Methodologies on the Smart City: A Systematic Literature Review. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1687, jan. 2022.
- NAKIP, M. et al. An End-to-End Trainable Feature Selection-Forecasting Architecture Targeted at the Internet of Things. **IEEE Access**, v. 9, p. 104011–104028, 2021.
- NASIF, A.; OTHMAN, Z. A.; SANI, N. S. The deep learning solutions on lossless compression methods for alleviating data load on IoT nodes in smart cities. **Sensors**, v. 21, n. 12, p. 4223, 2021.
- NGUYEN, H.; NAWARA, D.; KASHEF, R. Connecting the indispensable roles of IoT and artificial intelligence in smart cities: A survey. **Journal of Information and Intelligence**, jan. 2024.
- OECD. **OECD Regions and Cities at a Glance 2022**. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2022.
- PRAKASH, J. et al. A vehicular network based intelligent transport system for smart cities using machine learning algorithms. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 468, 2024.
- QOLOMANY, B. et al. Trust-based cloud machine learning model selection for industrial IoT and smart city services. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 4, p. 2943–2958, 2020.
- RADCHENKO, K. Factors Influencing the Content of Smart City Initiatives (Particularly based on Institutional Theories of Organization). **Smart Cities and Regional Development (SCRD) Journal**, v. 8, n. 3, p. 55–64, 2024.
- RAJKUMAR, N. et al. The power of AI, IoT, and advanced quantum based optical systems in smart cities. **Optical and Quantum Electronics**, v. 56, n. 3, p. 450, 2024.
- RASHID, M. M. et al. Adversarial training for deep learning-based cyberattack detection in IoT-based smart city applications. **Computers & Security**, v. 120, p. 102783, set. 2022.
- RASHID, M. M. et al. Cyberattacks detection in iot-based smart city applications using machine learning techniques. **International Journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 24, p. 9347, 2020.
- RATHI, V. K. et al. An edge AI-enabled IoT healthcare monitoring system for smart cities. **Computers & Electrical Engineering**, v. 96, p. 107524, 2021.

ROY, S.; JANA, D. K.; MISHRA, A. Linguistic interval type 2 fuzzy logic-based Exigency Vehicle routing: IoT system development for smart city applications with soft computing-based optimization. **Franklin Open**, v. 6, p. 100057, 2024.

SEFATI, S. S. et al. Meet User's Service Requirements in Smart Cities Using Recurrent Neural Networks and Optimization Algorithm. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 10, n. 24, p. 22256–22269, 2023.

SERRANO, W. The Blockchain Random Neural Network for cybersecure IoT and 5G infrastructure in Smart Cities. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 175, p. 102909, 2021.

SHAFIQUE, K. et al. Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios. **IEEE Access**, v. 8, p. 23022–23040, 2020.

SHARMA, H.; HAQUE, A.; BLAABJERG, F. Machine learning in wireless sensor networks for smart cities: a survey. **Electronics**, v. 10, n. 9, p. 1012, 2021.

SHEN, M. et al. Privacy-Preserving Support Vector Machine Training Over Blockchain-Based Encrypted IoT Data in Smart Cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 5, p. 7702–7712, 2019.

SINGH, S. et al. Convergence of blockchain and artificial intelligence in IoT network for the sustainable smart city. **Sustainable Cities and Society**, v. 63, p. 102364, 2020.

SINGH, S. K.; JEONG, Y.-S.; PARK, J. H. A deep learning-based IoT-oriented infrastructure for secure smart city. **Sustainable Cities and Society**, v. 60, p. 102252, 2020.

SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. 2nd. ed. MIT Press, 2017.
SZPILKO, D. et al. Artificial Intelligence in the Smart City — A Literature Review. **Engineering Management in Production and Services**, v. 15, p. 53–75, 2023.

TAHSIN, M. S. et al. Data Security Model Using Deep Learning and Edge Computing for Internet of Things (IoT) in Smart City. In: 19th OITS International Conference on Information Technology (OCIT). **Proceedings...**[S.l.: s.n.], 2021. p. 381–386.

TANG, B. et al. A Hierarchical Distributed Fog Computing Architecture for Big Data Analysis in Smart Cities. In: ASE BigData Social Informatics 2015. [S.l.: s.n.], **Proceedings...** 2015. ISBN 978-1-4503-3735-9.

ULLAH, A. et al. Smart cities: the role of Internet of Things and machine learning in realizing a data-centric smart environment. **Complex & Intelligent Systems**, v. 10, n. 1, p. 1607–1637, 2024.

VANDECASTEELE, I. et al. **The Future of Cities, Opportunities, Challenges and the Way Forward**. [S.l.: s.n.], 2019.

VINAYAKUMAR, R. et al. A Visualized Botnet Detection System Based Deep Learning for the Internet of Things Networks of Smart Cities. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 56, n. 4, p. 4436–4456, jul. 2020.

WANG, K. et al. Analyzing the adoption challenges of the Internet of things (IoT) and artificial intelligence (ai) for smart cities in china. **Sustainability**, v. 13, n. 19, p. 10983, 2021.

WEISS, M. C.; PEREZ, G. Smart Cities: An Analysis of Information and Communication Technology Capabilities for Digital Transformation in Brazilian Cities. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 20, n. 1, 2024.

WORLDBANK. Text/HTML, **Urban Development**. 2024. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment>.

WU, H. et al. Collaborate edge and cloud computing with distributed deep learning for smart city internet of things. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 7, n. 9, p. 8099–8110, 2020.