

# Digital Twin em cidades inteligentes no Brasil: uma revisão integrativa da literatura

## Digital Twin in smart cities in Brazil: an integrative literature review

Thais Carrier Mendonça<sup>1</sup>, António Lucas Soares<sup>2</sup>, Vanessa Oliveira de Macêdo Cavalcanti<sup>3</sup>, Gregório Jean Varvakis Rados<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6186-3155>

<sup>2</sup> Universidade do Porto, Porto, Portugal. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5853-5137>

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6976-8470>

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2576-4835>

Autor para correspondência/Mail to: Thais Carrier Mendonça, thais.mend@gmail.com

Recebido/Submitted: 27 de fevereiro de 2023; Aceito/Approved: 07 de abril de 2024



Copyright © 2024 Mendonça, Soares, Cavalcanti & Rados. Todo o conteúdo da Revista (incluindo-se instruções, política editorial e modelos) está sob uma licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional. Ao serem publicados por esta Revista, os artigos são de livre uso para compartilhar e adaptar e é preciso dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas. Mais informações em <http://revistas.ufpr.br/atoz/about/submissions#copyrightNotice>.

### Resumo

**Introdução/Objetivo:** o objetivo deste artigo é analisar a literatura acadêmica atual sobre *smart cities* (cidades inteligentes) no Brasil com evidências de aplicação da tecnologia *Digital Twin* (gêmeo digital) ou *Digital Shadow* (sombra digital). **Método:** a Revisão Integrativa da Literatura foi utilizada como instrumento de pesquisa, analisando nos artigos: a) objetivo; b) método de pesquisa; c) objeto de estudo (local); d) aplicação da *Digital Twin* ou *Digital Shadow*; e) Resultado e conclusões. **Resultados:** portfólio com 25 artigos sobre o tema e a análise qualitativa quanto ao objetivo, método, local de estudo, tecnologia *Digital Twin*, *Digital Shadow* e resultados. Estudos com elementos da *Digital Shadow* são percebidos timidamente em dois casos de cidades inteligentes no Brasil. **Conclusões:** as tecnologias inteligentes das cidades devem ser centradas nos interesses dos usuários para não perder a sua humanidade. Cabe acrescentar que as necessidades das pessoas mudam e, com isso, as tecnologias inteligentes devem ter visão de futuro, com vistas a antecipar as necessidades das gerações futuras. A tecnologia *Digital Twin* é um modelo que pode contribuir neste sentido, monitorando e provendo a leitura de cenários futuros de cidades inteligentes.

**Palavras-chave:** Gêmeo Digital; Sombra Digital; Cidades Inteligentes.

### Abstract

**Introduction/Objective:** the objective of this article is to analyze the current academic literature on smart cities in Brazil with evidence of the application of Digital Twin or Digital Shadow technology. **Method:** Integrative Literature Review was used as the research instrument, analyzing in the articles: a) objective; b) research method; c) study subject (location); d) application of Digital Twin or Digital Shadow; e) Results and conclusions. **Results:** portfolio with 25 articles on the topic and qualitative analysis regarding objective, method, study location, Digital Twin technology, Digital Shadow, and results. Studies with elements of Digital Shadow are perceived timidly in two cases of smart cities in Brazil. **Conclusions:** smart city technologies should be centered on the interests of users to not lose their humanity. It is worth adding that people's needs change and, therefore, smart technologies should have a forward-looking vision to anticipate the needs of future generations. Digital Twin technology is a model that can contribute in this sense, monitoring and providing readings of future scenarios for smart cities.

**Keywords:** Digital Twin; Digital Shadow; Smart Cities.

## INTRODUÇÃO

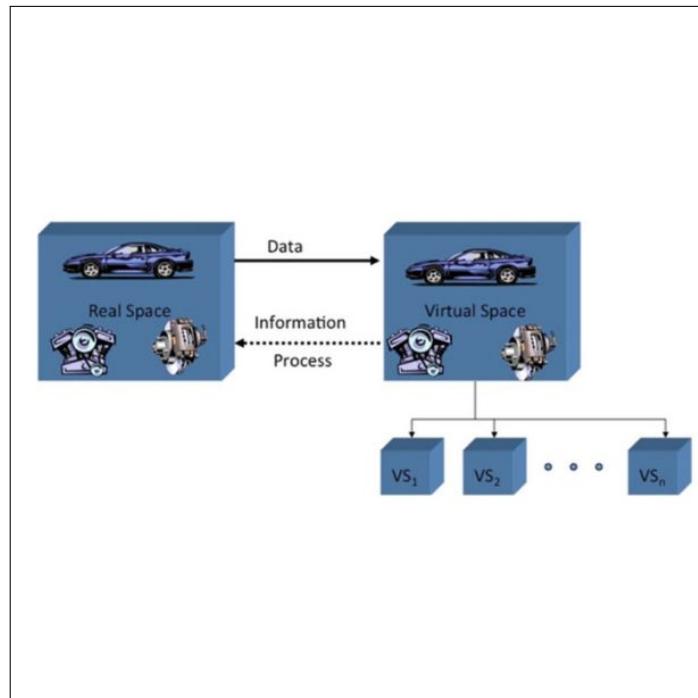
A tecnologia digital e de informação torna-se cada vez mais útil. Nos centros urbanos, a aplicação tecnológica busca ativamente resolver problemas que impactam diretamente a sociedade, promovendo uma melhor qualidade de vida para os cidadãos. A busca pela inovação torna-se um meio essencial para vincular o uso da tecnologia ao benefício coletivo. Este artigo abordará dois construtos principais: a Digital Twin e cidades inteligentes, buscando observar, a partir de estudo de revisão da literatura, as cidades inteligentes no Brasil e o uso das tecnologias Digital Twin nessas cidades. Com isso, surgem duas questões de pesquisa que nortearam a revisão: *Quais aspectos de tecnologias inteligentes são identificados nas cidades brasileiras? Existe evidência do uso da tecnologia Digital Twin (Gêmeo-digital) ou Digital Shadow (sombra digital) em Smart Cities no Brasil?*

O objetivo do presente artigo é sumarizar o conhecimento atual sobre Smart Cities no âmbito de cidades brasileiras com evidências de aplicação das tecnologias Digital Twin (gêmeo digital) ou Digital Shadow (sombra digital). O artigo estrutura-se da seguinte maneira: esta seção introdutória, seguido dos apontamentos conceituais sobre as cidades inteligentes e Digital Twin. Na seção posterior descreve-se o percurso metodológico da pesquisa, seguindo pelas análises e correlação dos resultados. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

## DIGITAL TWIN E CIDADES INTELIGENTES

O conceito de "Digital Twin" teve sua origem em 2002 e tem se difundido não apenas na indústria, mas em todos os ambientes nos quais sistemas físicos e sistemas humanos interagem (Grieves & Vickers, 2016).

Digital Twin é um conjunto de informações virtuais que descreve completamente um produto físico real ou potencial fabricado. O Digital Twin funciona de forma que os sistemas real e virtual mantêm sua ligação, onde os dados da construção física são enviados para o espaço virtual e o espaço virtual envia as informações necessárias para mudanças no sistema físico (Grieves & Vickers, 2016).



**Figura 1.** Construção informacional Digital Twin.

Fonte: Grieves e Vickers (2016, p. 93).

O modelo de Digital Twin é composto por um espaço real contendo um objeto físico, um espaço virtual contendo um objeto virtual e o link para o fluxo de dados do espaço real para o espaço virtual e para o fluxo de informações do espaço virtual para o espaço real (Barricelli, Casiraghi, & Fogli, 2019). Essa tecnologia se propõe a criar um espaço digital gêmeo de um sistema físico que interage entre si, por meio de fluxos de dados e de informação.

O Digital Twin é provavelmente um dos mais importantes avanços do campo da tecnologia, motivado pela integração de modelos da Inteligência Artificial, Big Data e Internet das Coisas (Barricelli et al., 2019). Cumpre salientar que os espaços físicos e digitais com fluxo de dados unidirecional se distinguem do modelo de Digital Twin e são reconhecidos na literatura por Shadow Digital, sombra digital (Bergs et al., 2021; Sepasgozar, 2021). Esse modelo se caracteriza com fluxo de dados entre o modelo digital e o físico, ou entre o físico e o digital sem a troca bilateral.

O Digital Twin, como uma tendência inevitável de transformação digital, ajuda as cidades a realizar o monitoramento remoto em tempo real e permite uma tomada de decisões mais eficaz (Deng, Zhang, & Shen, 2021). A adoção de mecanismos de transformação digital é uma decisão crucial para a gestão das cidades. Cada avanço significativo na tecnologia reconfigura os cenários, aumentando o campo de trabalho e atuação dos governantes em prol de uma cidade mais eficiente. O conceito de Digital Twin é novo na literatura em disciplinas de ambiente construído, incluindo cidades inteligentes, construção, construção e mineração (Sepasgozar, 2021). As cidades inteligentes estão intrinsecamente ligadas à temática do Digital Twin devido ao amplo emprego de dados, à utilização de tecnologias da informação e comunicação (TIC) e à incessante busca por ferramentas e soluções inovadoras, com o objetivo de aprimorar tanto a eficiência operacional quanto a qualidade de vida dos residentes urbanos.

Cidade inteligente é percebida como aquela em que novas fontes de dados e práticas analíticas são utilizadas para automatizar e moldar a prestação de serviços públicos e políticas, visando melhor desempenho, redução de custos e resultados mais sustentáveis (Przybilowicz et al., 2020). Tornar viável uma cidade inteligente representa, consequentemente, uma abordagem para prover estratégias urbanas sustentáveis.

As cidades inteligentes são a consolidação de múltiplos atributos, como sustentabilidade, qualidade de vida, urbanização e inteligência, definida como o desejo de melhorar as referências sociais, ambientais e econômicas

da cidade e seus habitantes (Silva, Khan, & Han, 2018). Em suma, uma cidade não é considerada inteligente apenas pelo uso isolado da tecnologia; alcançar esse patamar requer a implementação de ferramentas inteligentes, contribuindo assim para a consolidação dos atributos envolvidos.

São os quatro pilares para a progressão contínua de uma cidade inteligente (Silva et al., 2018):

- 1) Infraestrutura institucional: integração dos recursos públicos, privados, civis e nacionais na interoperação entre serviços; governança e gestão tecnocrática.
- 2) Infraestrutura física: garantir a sustentabilidade dos recursos para continuar as operações da cidade no presente e no futuro (recursos naturais e infraestrutura manufaturada).
- 3) Infraestrutura social: composta pelos aspectos do capital, capital humano, qualidade de vida, inclusive a adoção das TIC para melhorar os padrões de vida dos cidadãos, consciência cidadã e responsabilidades.
- 4) Infraestrutura econômica: crescimento do emprego, comércio eletrônico, aumento da produtividade, inovação e economia inteligente.

No contexto brasileiro, no período de 2019 a 2020, o Centro de Estudos e Debates Estratégicos (Cedes) com apoio da Câmara de Deputados, estudou esta nova perspectiva para os centros urbanos brasileiros, o que culminou no documento intitulado “Cidades inteligentes: uma abordagem humana e sustentável” (Câmaras dos Deputados, 2021). O documento apresenta a discussão do assunto ao contexto das cidades brasileiras e atrela a cinco dimensões necessárias, sendo:

i) a governança deve ser mediada por tecnologia e mediante participação social; ii) tecnologias inteligentes e sensitivas devem ser de uso racional; iii) a sustentabilidade das iniciativas deve ser integral, ou seja, envolver aspectos além dos relacionados aos recursos naturais, garantindo a perenidade das iniciativas; iv) a educação deve objetivar a formação de uma sociedade inovadora e altamente qualificada; e v) a economia baseada no conhecimento deve ser fomentada (Câmaras dos Deputados, 2021, p. 13).

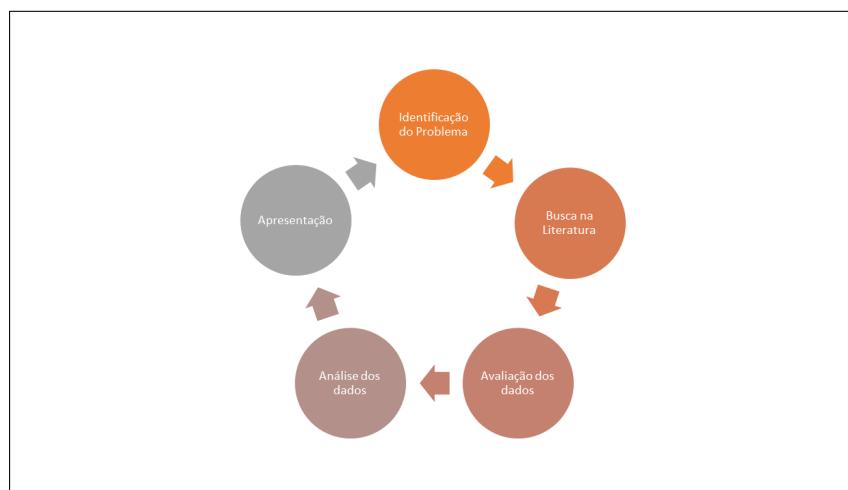
Trata-se de um documento elementar, em fase de debates, que sinaliza que o Brasil caminha à institucionalização de políticas públicas sobre cidades inteligentes.

Assim, a seção posterior apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o estudo e o detalhamento das etapas da revisão de literatura.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Quanto aos objetivos, esta pesquisa é exploratória por buscar a compreensão do problema investigado e torná-lo explícito. Quanto à técnica é bibliográfica, de natureza qualitativa. A coleta dos dados se dará por meio de uma Revisão Integrativa de Literatura.

As revisões integrativas são o tipo mais amplo de métodos de revisão de literatura que permitem a inclusão simultânea de pesquisas experimentais e não experimentais para compreender melhor um fenômeno preocupante, combinando dados da literatura teórica e empírica (Whitemoore & Knafl, 2005). Uma revisão integrativa permite a análise teórica de um tópico de estudo, com vistas a responder uma pergunta de pesquisa e permitir, assim, o avanço e desenvolvimento científico e segue etapas definidas (Figura 2).



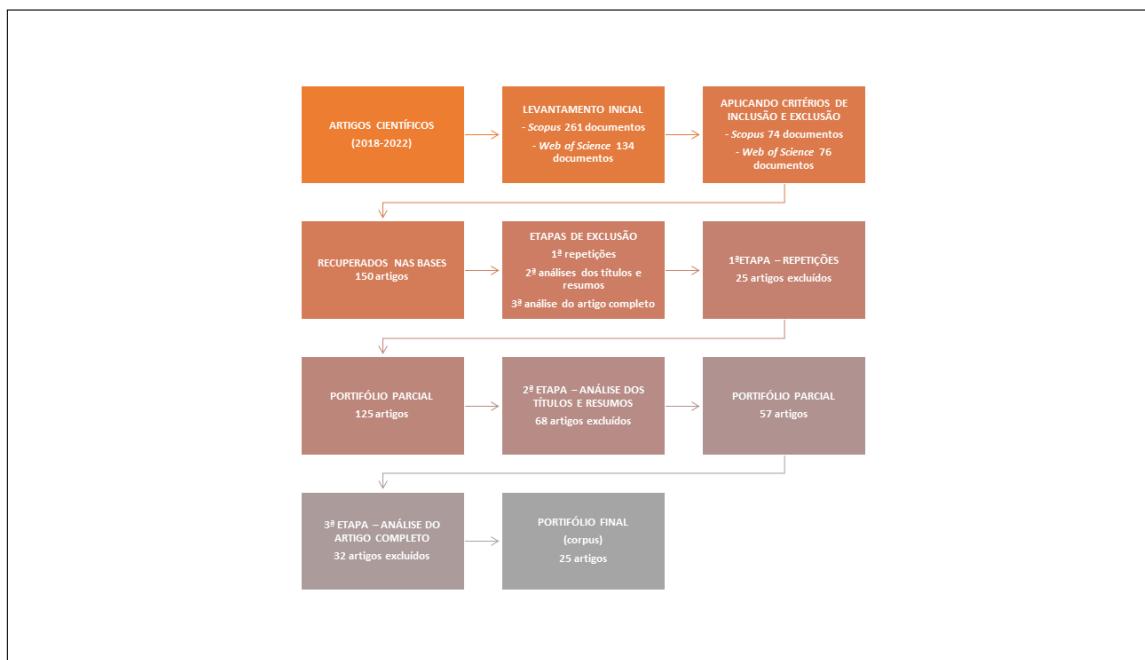
**Figura 2.** Etapas da pesquisa integrativa.

Fonte: Adaptado de Whitemoore e Knafl (2005).

Identificação do problema: o passo inicial de uma revisão integrativa é a definição do problema de pesquisa. Neste estudo o problema é: *Quais aspectos de tecnologias inteligentes são identificados nas cidades brasileiras? Existe evidência do uso da tecnologia Digital Twin (gêmeo digital) e shadow Twin (sombra digital) em Smart Cities no Brasil?*

Busca na literatura: nesta etapa foi definido as estratégias e processo de busca na literatura. A pesquisa foi realizada em duas bases de dados de artigos: a Scopus e a Web of Science. Como estratégia de busca, optou-se em utilizar o método PCC, extraíndo do problema de pesquisa a População (P), Conceito (C) e Contexto (C). Desta forma, os termos principais extraídos são: (P) Brasil; (C) *Smart Cities*; e (C) Cidades brasileiras. Os termos foram traduzidos para o inglês (*Brazil; Cities; Smart Cities*), combinados e transcritos de acordo com os termos do vocabulário controlado e termos livres para a construção da estratégia de busca: (*cities OR city OR town OR municipality OR Citizens*) AND (“*Smart Cities*” OR *Intelligent* OR “*Smart Mobility*” OR “*Smart Governance*”) AND (*brazil* OR *brazilian*). Foram selecionados artigos em português e inglês, tendo como critérios de inclusão: 1) somente artigos científicos; 2) artigos empíricos; 3) artigos de 2018 a 2022<sup>1</sup>. Não foram considerados capítulos de livros, artigos de congresso, resumos, teses ou dissertações, artigos de revisão (literatura, bibliográfica, integrativa ou sistemática). Realizada a busca nas bases e aplicados os critérios de inclusão e exclusão, foram recuperados 74 artigos na Scopus e 76 na Web of Science.

Avaliação dos dados: nesta etapa é realizada a avaliação dos estudos selecionados para compor o portfólio da pesquisa. A avaliação deu-se primeiramente a partir de etapas de exclusão, sendo: artigos repetidos, seguindo pela leitura dos títulos e resumos e, por fim, do artigo completo. O portfólio final ficou formado com 25 artigos, selecionados após a conclusão de todas as etapas. A figura 4, a seguir, apresenta o detalhamento da avaliação dos dados da pesquisa.



**Figura 3.** Detalhamento da avaliação da pesquisa integrativa.

Análise dos resultados: nesta fase definiu-se a análise e categorização dos estudos do portfólio da pesquisa. Foram considerados como categorias a serem observadas nos estudos recuperados: a) objetivo, b) método de pesquisa (empírico), c) objeto de estudo (local); d) aplicação Digital Twin ou Digital Shadow; e, e) resultados e conclusões. A análise dos resultados está descrita no capítulo a seguir.

Apresentação da revisão: esta é a última etapa da revisão integrativa e consiste em apresentar as etapas da revisão e síntese do conhecimento construído.

No capítulo a seguir são apresentadas as análises dos resultados e discussão da categorização dos estudos.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

O portfólio final para análise ficou composto pelo corpus de 25 artigos científicos, a seguir apresentam-se os dados na tabela 1.

<sup>1</sup> A coleta de dados foi realizada em 04 de abril de 2022, sendo considerados os artigos de 2022 publicados até esta data.

**Tabela 1.** Portfólio final (*corpus*) da pesquisa.

NR	Título	Autoria	Ano	Periódico	Citação
A1	Citizen participation in the smart city: findings from an international comparative study. (Przeybilovicz et al., 2020)	Przeybilovicz, E., Cunha, M. A., Geertman, S., Leleux, C., Michels, A., Tomor, Z., Webster, C. W. R., & Meijer, A.	2020	Local Government Studies	0
A2	Antecedent and Consequents of Eco-Innovation for Sustainability: Generations' Perceptions in Brazil and Portugal. (Severo & Guimarães, 2022)	Severo, E. A., & Guimarães, J. C. F. de	2022	International Journal of Professional Business Review	0
A3	Análise de dados aplicada às cidades inteligentes: reflexões sobre a Região Nordeste do Brasil (Barbosa & Sánchez-Gendriz, 2021)	Barbosa, J. R. de A., & Sánchez-Gendriz, I.	2021	Confins-Revue Franco-Bresilienne de Géographie-Revista Franco-Brasileira de Geografia	0
A4	Mobilidade, participação e dados: o caso da aplicação do Waze for Cities Data na cidade de Joinville (SC). (Hiroki, 2021)	Hiroki, S. M. Y.	2021	Urbe	0
A5	The use of m-government applications: empirical evidence from the smartest cities of Brazil. (Malaquias & Silva Junior, 2021)	Malaquias, F. F. de O., & Silva Junior, R. J. da	2021	Information Technology & People	0
A6	Multidimensionalidade e componentes centrais de cidades inteligentes: estudo de caso de Cascavel, PR. (Lanza & Rezende, 2021)	Lanza, B. B. B., & Rezende, D. A.	2021	Revista Tecnologia E Sociedade	0
A7	The smart grid as a security device: Electricity infrastructure and urban governance in Kingston and Rio de Janeiro. (Pilo, 2021)	Pilo, F.	2021	Urban Studies	0
A8	Characterization of smart cities dimensions in the metropolitan region of Vale do Paraíba and North Coast - Brazil. (Moraes et al., 2021)	Moraes, M. B. de Oliveira, E. A. de A. Q., Silva, J. L. G. da, & Gallardo, A. L. C. F.	2021	Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional	0
A9	Getting smarter about household energy: the who and what of demand for smart meters. (Fettermann et al., 2021)	Fettermann, D. C., Borriello, A., Pellegrini, A., Cavalcante, C. G., Rose, J. M., & Burke, P. F.	2021	Building Research and Information	0
A10	Strategizing smart, sustainable, and knowledge-based development of cities: Insights from Florianópolis, Brazil. (Sabatini-Marques et al., 2020)	Sabatini-Marques, J., Yigitcanlar, T., Schreiner, T., Wittmann, T., Sotto, D., & Inkinen, T.	2020	Sustainability (Switzerland)	12

NR	Título	Autoria	Ano	Periódico	Citação
A11	SmartGC: a software architecture for garbage collection in smart cities. (Rama-Iho et al., 2020)	Ramalho, M. S., Rossetti, R. J. F., Cacho, N., & Souza, A.	2020	International Journal of Bio-Inspired Computation	1
A12	As cidades inteligentes e os desafios para a implantação da garantia da qualidade de serviços. (Lui & Petarnella, 2020)	Lui, M. de La C., & Petarnella, L.	2020	Revista Tecnologia e Sociedade	1
A13	Governance and quality of life in smart cities: Towards sustainable development goals. (Guimarães et al., 2020)	Guimarães, J. C. F. de, Severo, E. A., Felix Júnior, L. A., Costa, W. P. L. B. da, & Salmoria, F. T.	2020	Journal of Cleaner Production	126
A14	Cidades inteligentes e humanas: percepção local e aderência ao movimento que humaniza projetos de smart cities. (Martinelli et al., 2020)	Martinelli, M. A., Achcar, J. A., & Hoffmann, W. A. M.	2020	Revista Tecnologia e Sociedade	6
A15	O papel da aceitação da tecnologia nas cidades inteligentes: um estudo das percepções dos usuários do Uber Brasil. (Mariano et al., 2019)	Mariano, A. M., Ramírez-Correa, P., Alfaro-Pérez, J., Painén-Aravena, G., & Machorro-Ramos, F.	2019	RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informação	6
A16	Smart sustainable cities evaluation and sense of community. (Macke et al., 2019)	Macke, J., Sarate, J. A. R., & Moschen, S. de A.	2019	Journal of Cleaner Production	75
A17	Smart mobility transition: a socio-technical analysis in the city of Curitiba. (Fryszman et al., 2019)	Fryszman, F., Cars tens, D. D. dos S., & Cunha, S. K. da	2019	International Journal of Urban Sustainable Development	7
A18	Building a smart city with trust: the case of '156 central' of Curitiba-Brazil. (Hojda et al., 2019)	Hojda, A., Fariniuk, T. M. D., & Simão, M. de M. B.	2019	Economia, Sociedad y Territorio	7
A19	An infrastructure model for smart cities based on big data. (Gomes et al., 2018)	Gomes, E. H. A., Dantas, M. A. R., Macedo, D. D. J. de, Rolt, C. R. de, Dias, J., & Foschini, L.	2018	International Journal of Grid and Utility Computing	22
A20	Smarter than Smart: Rio de Janeiro's flawed emergence as a smart city. (Gaffney & Robertson, 2016)	Gaffney, C., & Robertson, C.	2016	Journal of Urban Technology	129
A21	Smart city and quality of life: citizens' perception in a Brazilian case study. (Macke et al., 2018)	Macke, J., Casagrande, R. M., Sarate, J. A. R., & Silva, K. A.	2018	Journal of Cleaner Production	171
A22	The influence of context in the implementation of a smart city project: the case of cidade inteligente Búzios. (Brandão & Joia, 2018)	Brandão, M., & Joia, L. A.	2018	Revista de Administração Pública	5

NR	Título	Autoria	Ano	Periódico	Citação
A23	Legal aspects and perceptions on strategies for smart and creative cities: Study of the municipality of Chapecó (SC). (Piekas et al., 2018)	Piekas, A. A. S., Bernardy, R. J., Sehnem, S., & Fabris, J.	2018	Urbe	4
A24	The use of information and communication technology to characterize municipalities: Who they are and what they need to develop e-government and smart city initiatives. (Przybilowicz et al., 2018)	Przybilowicz, E., Cunha, M. A., & Meirelles, F. de S.	2018	Revista de Administração Pública	33
A25	Um estudo sobre aspectos de uma cidade inteligente identificados pelos habitantes de São José dos Campos – SP. (Dias et al., 2018)	Dias, L. C., Moraes, M. B. de, Silva, J. L. G. da, & Oliveira, E. A. de A. Q.	2018	Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional	4

A seguir, será apresentada a caracterização dos artigos do portfólio final da pesquisa e na sequência às discussões das categorias de análise desta pesquisa integrativa.

#### Caracterização dos artigos do portfólio

Em relação ao ano de publicação, 2021 destacou-se com sete artigos, o maior número de publicações no portfólio por ano. Como a pesquisa foi realizada em abril/2022 os dados de 2022 (um artigo) não foram observados para análise em relação à quantidade de publicações por ano.

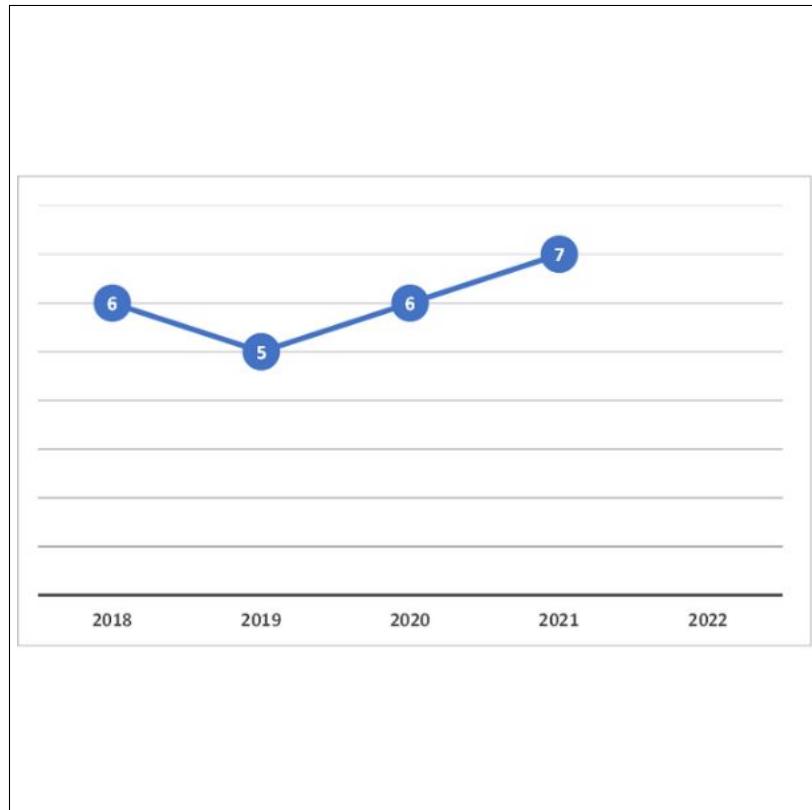


Figura 4. Ano de publicação.

Quanto à relevância dos artigos do portfólio, buscou-se identificar, a partir de pesquisa no Google Scholar no dia 11 de junho de 2022, a quantidade de citações de cada trabalho (tabela 1) e na sequência a notoriedade dos

artigos juntamente com a autoria dos trabalhos. Quanto à autoria, verificou-se que os autores que publicaram mais de um artigo no portfólio, são eles:

- a) Marcela Barbosa de Moraes, José Luis Gomes da Silva e Edson Aparecida de Araujo Querido Oliveira, ambos da Universidade de Taubaté/SP, destacaram-se em co-autoria nos artigos A8 e A25, que somados compreendem quatro citações.
- b) Janaina Macke, da Universidade de Caxias do Sul, e João Alberto Rubim Sarate da Faculdade CNEC em co-autoria nos artigos A16 e A21, que somados compreendem 246 citações.
- c) Erico Przybilovicz e Maria Alexandra Cunha, ambos da Escola de Administração da Fundação Getúlio Vargas, em co-autoria nos artigos A1 e A24, que somados compreendem 33 citações.

Cabe destacar que os dois artigos (A16 e A21) de co-autoria dos pesquisadores Janaina Macke e do João Alberto Rubim Sarate com o cômputo de 246 citações, representam 40% do total de 609 citações do portfólio e o artigo A20, com 129 citações, representa 21% das citações do portfólio. Melhor dizendo, os artigos A16 ([Macke, Sarate, & Moschen, 2019](#)), A20 ([Gaffney & Robertson, 2016](#)) e A21 ([Macke, Casagrande, Sarate, & Silva, 2018](#)) são aqueles com maior notoriedade acadêmica do portfólio, representando 61% das citações.

Quanto aos periódicos, a tabela 2 apresenta a representatividade dos periódicos no portfólio da pesquisa, indicando a quantidade de artigos, citações, JCR<sup>2</sup> e Qualis<sup>3</sup>.

**Tabela 2.** Periódicos científicos.

Periódico científico	ISSN	Qtidade artigos	Qtidade citações	JCR	Qualis
Journal of Cleaner Production	0959-6526	3	372	9.297	A1
Journal of Urban Technology	1466-1853	1	129	5.465	A1
Revista de Administração Pública	0034-7612	2	38	0.24	A1
Sustainability	2071-1050	1	12	3.251	A2
Int. Journal of Grid and Utility Computing	1741-8488	1	22	0.30	B2
Revista Tecnologia e Sociedade	1984-3526	3	7	0.09	B1
Economía, Sociedad y Territorio	1405-8421	1	7	0.15	B1
International Journal of Urban Sustainable Development	1946-3138	1	7	0.38	B2
RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação	1646-9895	1	6	//	B1
urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana	2175-3369	2	4	0.10	A2
Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional	1809-239X	2	4	//	A2
International Journal of Bio-Inspired Computation	1758-0374	1	1	3.977	B1
Local Government Studies	0300-3930	1	0	2.726	A1
Information Technology & People	0959-3845	1	0	3.879	A1
International Journal of Professional Business Review	2525-3654	1	0	//	B5
Urban Studies Journal Limited	2175-3369	1	0	0.10	A2
Confins - Revue franco-brésilienne de géographie	1958-9212	1	0	0.04	A2

<sup>2</sup>JCR: <https://jcr.clarivate.com>, pesquisa realizada em 12 de junho de 2022.

<sup>3</sup>É um sistema que faz a classificação da produção científica dos programas de pós-graduação brasileiros. Plataforma Sucupira <https://sucupira.capes.gov.br/>, pesquisa realizada em 12 de junho de 2022, selecionando o melhor indicador Qualis vinculado ao periódico, triênio 2013-2016.

Periódico científico	ISSN	Qtidade artigos	Qtidade citações	JCR	Qualis
Building Research & Information	0961-3218	1	0	5.322	A1

O Journal of Cleaner Production foi o periódico de maior destaque no portfólio com três artigos, classificação Qualis A1 na Capes, JCR 9.297 e 372 citações na literatura. Isso nos mostra que a revista tem notoriedade científica no assunto “Smart Cities” e indica ser uma fonte qualificada de pesquisa na área. Ainda assim, o Journal of Urban Technology, Revista de Administração Pública e Sustainability também se destacaram em seus indicadores, todavia com menor número de artigos e citações no portfólio.

### Discussão das categorias de análise

Nesta revisão, observou-se as seguintes categorias: a) objetivo, b) tipo de estudo (empírico), c) objeto de estudo (local), d) aplicação Digital Twin; e e) resultados e conclusões. Cabe destacar que a seleção incorporou apenas estudos empíricos, ou seja, aqueles que realizaram pesquisa de campo, seja com aplicação de questionário, entrevista ou outro método de observação e coleta de dados.

Quanto aos objetivos, os autores utilizaram verbos variados para expor a proposta principal dos respectivos estudos. A figura 5 apresenta a lista de verbos utilizados pelos autores.



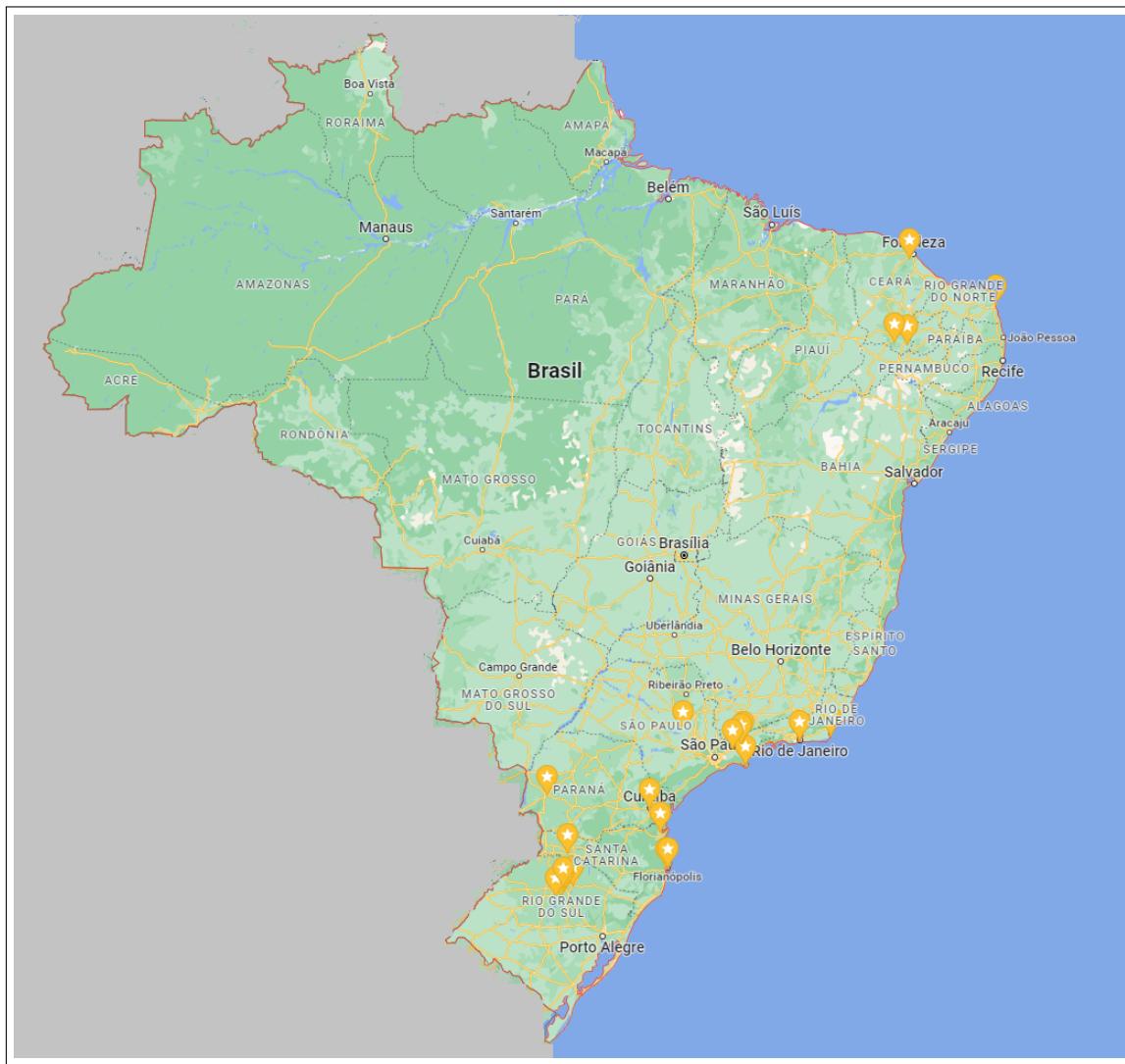
Figura 5. Objetivo da pesquisa.

Os objetivos dos artigos têm os domínios cognitivos de análise (analisar, repetido sete vezes; investigar, examinar), compreensão (compreender, identificar, descrever, apresentar), avaliação (avaliar, diagnosticar, verificar), conhecimento (conhecer e explorar) e aplicação (gerar, contribuir, propor, testar).

Quanto aos métodos e tipos de estudos, as pesquisas foram predominantemente qualitativas, tendo 16 estudos qualitativos, 8 quantitativos e um quali-quantitativo. Por serem pesquisas empíricas, o instrumento de coleta de dados mais utilizado foi a entrevista, seguido do questionário. Alguns estudos de campo coletaram informações por meio da pesquisa documental em normas, sites e leis governamentais.

Quanto ao local de aplicação do estudo (cidade), as localidades mais estudadas foram: Curitiba/PR (4 estudos); Florianópolis/SC (3 estudos); Nata/RN (2 estudos), Rio de Janeiro/RJ (2 estudos) e São José dos Campos/SP (2 estudos). Demais cidades<sup>4</sup> obtiveram um estudo cada uma. Cabe destacar, que cinco estudos tiveram abrangência nacional não direcionando os resultados da pesquisa a uma localidade especificamente.

<sup>4</sup>Passo Fundo (RS), Taubaté (SP), Pindamonhangaba (SP), Ilhabela (SP), Chapecó (SC), Joinville (SC), Carazinho (RS), Ibirubá (RS), Nao-Me-Toque (RS), Tapera (RS), Búzios (RJ), Cascavel (PR), Barbalha (CE), Mauriti (CE) e Maranguape (CE).



**Figura 6.** Locais de aplicação dos estudos.

Pode-se observar no mapa (figura 6) que os estudos se concentraram nas regiões sul, sudeste e nordeste do país. Não se observou estudos nas regiões norte e centro-oeste brasileiro. Cabe destacar que não necessariamente a aplicação do estudo determina que a cidade é uma cidade inteligente, haja vista que a maioria dos estudos tinham o objetivo de analisar e compreender aspectos das localidades, assim como modelos inteligentes a serem aplicados no futuro.

Quanto à aplicação da tecnologia Digital Twin (gêmeo digital), nenhum estudo apresentou evidências de aplicação da tecnologia no âmbito desta pesquisa. Todavia, quando observado elementos relacionados a Digital Shadow (sombra digital) encontrou-se elementos em dois artigos:

- 1) A4 (Hiroki, 2021) realizada na cidade de Joinville/SC a pesquisa relatou que a cidade está buscando desenvolver um modelo de simulação que contará com a participação dos dados do Waze e coletados a partir de 95 controladores de velocidade que gerarão uma matriz Origem Destino (OD) através de um modelo matemático e calibrada através dos dados do Waze. Com esse modelo “há a possibilidade para monitorar propostas de médio e grande portes, o que permite uma cobertura completa do tráfego de Joinville no simulador” (Hiroki, 2021, p. 13).
  - 2) A7 (Pilo, 2021) a pesquisa relata estudo de caso da cidade do Rio de Janeiro com a instalação de redes de energia inteligentes (smart grid) para monitoramento do consumo energético, segurança das redes, operação e manutenção das redes de energia. O estudo contribui para os debates sobre a política de redes inteligentes em comunidades de baixa renda, abordando que “as características da medição inteligente prometem uma melhor gestão de potenciais comportamentos irregulares em um ambiente incerto no qual as condições socioeconômicas e de governança (de segurança) limitam a eficácia das práticas de gestão convencionais” (Pilo, 2021, p. 9).

Quanto aos resultados e conclusões, os aspectos levantados pelos artigos do portfólio serão apresentados nos quatro pilares para a progressão contínua de uma cidade inteligente (Silva et al., 2018), que são: i) infraestrutura social; ii) infraestrutura física; iii) infraestrutura social; e iv) infraestrutura econômica. Assim, categorizou-se os

resultados de cada artigo, apresentando a tabela 3 com o sumário das análises.

PILARES (Silva et al., 2018)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	TOTAL
i) Infraestrutura institucional	1	1	1		1			1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
ii) Infraestrutura física				1	1	1					1	1	1	1		1	1	1	1					1	11	
iii) Infraestrutura social				1	1	1	1		1		1	1	1		1		1	1							10	
iv) Infraestrutura econômica					1				2		1	1	1		1		1		1					2	7	

**Tabela 3.** Tabela de infraestruturas por pilar.

O pilar mais preponderante na pesquisa foi “Infraestrutura Institucional” presente em 12 dos artigos identificados. Os aspectos elencados nesta dimensão foram ligados à participação da sociedade, como por exemplo no A23 “promover a maior participação dos cidadãos, por meio de TICs e dispositivos inteligentes, favorece a construção de políticas públicas e a tomada de decisão [...]” (Piekas, Bernardy, Sehnem, & Fabris, 2018, p. 208), no A22 “percebemos que os cidadãos, que, de acordo com a Ampla, deveriam estar no centro da transformação, pareciam não ter percebido a implementação do projeto” (Brandão & Joia, 2018, p. 1136) e, também, os aspectos da governança, como no artigo A1 quando relata que “em Curitiba a governança é mais direcionada ao estudo técnico, resistindo a interferência dos cidadãos como direcionador do plano” (Przyebilowicz et al., 2020, p. 16). Ainda, assim, no A8, consta que “para melhorar a prestação de serviços à população, além de mudando a visão dos habitantes dos municípios, é importante criar novas políticas de interação do governo com a população [...]” (Moraes, Oliveira, Silva, & Gallardo, 2021, p. 62).

O pilar “Infraestrutura Física” visa garantir a sustentabilidade dos recursos para continuar as operações da cidade no presente e no futuro (Silva et al., 2018). O artigo A17 apresentou que “algumas iniciativas que foram consideradas sinais de inteligência mobilidade são: bondes de tração elétrica, sistema e estações de metrô, a implantação de ciclovias pistas, a criação de um ‘calçadão’, a adoção de combustíveis alternativos” (Fryszman, Carstens, & Cunha, 2019, p. 149), aspectos que relacionam a diminuição dos recursos naturais.

O pilar “Infraestrutura Social” destaca os aspectos do capital, capital humano, qualidade de vida, inclusive a adoção das TIC para melhorar os padrões de vida dos cidadãos (Silva et al., 2018). Assim, no portfólio desta revisão identificou-se aspectos como no artigo A11 que evidenciou a estratégia de roteamento dos itinerários e contabilização da coleta de lixo por meio de medidores inteligentes baseados em IoT” (Ramalho, Rossetti, Cacho, & Souza, 2020). E no Projeto Águas de São Pedro (A12), da cidade São Pedro/SP que tem quatro linhas de atuação: mobilidade, monitoramento da iluminação pública, acesso à internet em escolas públicas e o gerenciamento das câmeras de segurança da cidade (Lui & Petarnella, 2020). Assim como, no A5, que realizou o estudo na cidade de Joinville/SC indicando o uso de Big Data no planejamento de mobilidade ancorado em dados sobre o trânsito coletados pela empresa Waze (Malaquias & Silva Junior, 2021).

O pilar “Infraestrutura Econômica” foi observado no artigo A10, com o Projeto Smart Floripa Project, desenvolvido entre 2018 e 2019, que investigou sobre a possibilidade de Florianópolis/SC se transformar em uma cidade inteligente de inovação até 2030 (Sabatini-Marques et al., 2020). O artigo A25 relatou que apesar dos níveis de qualificação da estrutura de qualificação no domínio Cidadão Inteligente ser satisfatório “há falta de investimentos em estruturas (biblioteca), e em cursos para todas as idades” (Dias, Moraes, Silva, & Oliveira, 2018, p. 424). O artigo A2 observou que a integração entre universidades, incubadoras, centros tecnológicos e spin-off contribui para a promoção de políticas públicas, incentivo e integração entre as partes (Severo & Guimarães, 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos relacionados a Smart Cities se destacam pela análise e compreensão dos modelos aplicados às cidades brasileiras. Mostra-se evidente a constante relação com o uso de mecanismos da Internet e Big Data na promoção de soluções inteligentes em prol de governo e sociedade. O exemplo mais marcante destacado pelo portfólio foram: os mecanismos de monitoramento de trânsito como aplicado no artigo A4 (Hiroki, 2021) e A17 (Fryszman et al., 2019); e o uso de medidores inteligentes de energia elétrica nos artigos A7 (Pilo, 2021) e A9 (Fettermann et al., 2021).

O objetivo do artigo de sumarizar o conhecimento científico atual sobre Smart Cities no âmbito de cidades brasileiras com evidências de aplicação das tecnologias Digital Twin (gêmeo digital) ou Digital Shadow (sombra digital) foi atingido, todavia percebeu-se, a partir do estudo, que a tecnologia da Digital Twin não está presente no contexto das cidades inteligentes brasileiras. A revisão observou os estudos de cidades inteligentes e correlacionou (quadro 3) com a teoria de Silva et al. (2018) que apresentam os quatro pilares para progressão contínua das cidades. Apenas dois estudos (Hiroki, 2021; Pilo, 2021) apresentaram timidamente elementos que se relacionam à Digital Shadow (sombra digital) aplicados às cidades. Os casos a respeito de Digital Twin e Digital Shadow são recentes e ainda pouco observados em estudos empíricos na literatura, todavia mostram-se relevantes e com perspectiva de contribuir fortemente no processo de transformação digital das cidades e governos.

Cabe ressaltar, também, que quando das análises, avaliações e compreensão dos estudos da Smart Cities destacou-se a relevância da busca pelos interesses da população, de forma que as tecnologias não percam a sua

humanidade, ou seja, centrados no usuário final. Neste sentido, acrescenta-se que as necessidades dos cidadãos mudam e com isso, as tecnologias inteligentes devem ter visão de futuro, com vistas a antecipar as necessidades das futuras gerações, abertas a tempestivas atualizações. A tecnologia Digital Twin, apesar de não observada nos estudos do portfólio, é um aspecto que pode, de certa maneira, contribuir nos aspectos de monitoramento e leitura do cenário futuro das cidades inteligentes, de forma a antecipar mudanças e planejar o futuro das cidades. O Journal of Cleaner Production (0959-6526) demonstra ser a revista com maior relevância acadêmica sobre o estudo sendo a fonte indicada para publicações futuras sobre o assunto. Os autores brasileiros Janaina Macke e João Alberto Rubim Sarate se destacam na pesquisa sobre o assunto, apresentando notoriedade acadêmica (citações) e quantidade de artigos no portfólio. Sugere-se que os estudos desses autores sejam consultados quando da relação de pesquisas sobre Smart Cities no Brasil.

Como limitação da pesquisa observa-se que as fases de coleta, análise e interpretação dos dados foram realizadas considerando a subjetividade e a visão de mundo dos pesquisadores, desta forma, esta pesquisa, se replicada poderá obter dados diferentes, mas que complementarão o arcabouço teórico da área de estudo. Como trabalhos futuros, sugere-se a investigação empírica da aplicabilidade da Digital Twin no contexto das cidades inteligentes ou outros contextos, como indústrias e demais sistemas complexos.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado em decorrência de projeto do Programa Institucional de Internacionalização (PRINT) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

## REFERÊNCIAS

- Barricelli, B. R., Casiraghi, E., & Fogli, D. (2019). A survey on digital twin: definitions, characteristics, applications, and design implications. *IEEE Access*, 7, 167653–167671. doi: [10.1109/access.2019.2953499](https://doi.org/10.1109/access.2019.2953499)
- Bergs, T., Gierlings, S., Auerbach, T., Klink, A., Schraknepper, D., & Augspurger, T. (2021). The concept of digital twin and digital shadow in manufacturing. *Procedia CIRP*, 101, 81–84. doi: [10.1016/j.procir.2021.02.010](https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.02.010)
- Brandão, M., & Joia, L. A. (2018). The influence of context in the implementation of a smart city project: the case of cidade inteligente búzios. *Revista de Administração Pública*, 52(6), 1125–1154. doi: [10.1590/0034-761220170133](https://doi.org/10.1590/0034-761220170133)
- Câmaras dos Deputados. (2021). *Cidades inteligentes: uma abordagem humana e sustentável*. Edições Câmara. Recuperado de [https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudos/pdf/cidades\\_inteligentes.pdf](https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudos/pdf/cidades_inteligentes.pdf)
- Deng, T., Zhang, K., & Shen, Z.-J. (2021). A systematic review of a digital twin city: a new pattern of urban governance toward smart cities. *Journal of Management Science and Engineering*, 6(2), 125–134. doi: [10.1016/j.jmse.2021.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.03.003)
- Dias, L. C., Moraes, M. B. d., Silva, J. L. G. d., & Oliveira, E. A. d. A. Q. (2018). Um estudo sobre aspectos de uma cidade inteligente identificados pelos habitantes de são josé dos campos – sp. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 14(2), 389–427. Recuperado de <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/3599>
- Fettermann, D. C., Borriello, A., Pellegrini, A., Cavalcante, C. G., Rose, J. M., & Burke, P. F. (2021). Getting smarter about household energy: the who and what of demand for smart meters. *Building Research & Information*, 49(1), 100–112. doi: [10.1080/09613218.2020.1807896](https://doi.org/10.1080/09613218.2020.1807896)
- Fryszman, F., Carstens, D. D. d. S., & Cunha, S. K. d. (2019). Smart mobility transition: a socio-technical analysis in the city of curitiba. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 11(2), 141–153. doi: [10.1080/19463138.2019.1630414](https://doi.org/10.1080/19463138.2019.1630414)
- Gaffney, C., & Robertson, C. (2016). Smarter than smart: Rio de janeiro's flawed emergence as a smart city. *Journal of Urban Technology*, 25(3), 47–64. doi: [10.1080/10630732.2015.1102423](https://doi.org/10.1080/10630732.2015.1102423)
- Grieves, M., & Vickers, J. (2016). Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In *Transdisciplinary perspectives on complex systems* (p. 85–113). Springer. doi: [10.1007/978-3-319-38756-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4)
- Hiroki, S. M. Y. (2021). Mobilidade, participação e dados: o caso da aplicação do waze for cities data na cidade de joinville (sc). *Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13. doi: [10.1590/2175-3369.013.e20200030](https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200030)
- Lui, M. d. L. C., & Petarnella, L. (2020). As cidades inteligentes e os desafios para a implantação da garantia da qualidade de serviços. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(39), 165–181. doi: [10.3895/rts.v16n39.9586](https://doi.org/10.3895/rts.v16n39.9586)
- Macke, J., Casagrande, R. M., Sarate, J. A. R., & Silva, K. A. (2018). Smart city and quality of life: citizens' perception in a brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, 182, 717–726. doi: [10.1016/j.jclepro.2018.02.078](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.078)
- Macke, J., Sarate, J. A. R., & Moschen, S. d. A. (2019). Smart sustainable cities evaluation and sense of community. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118103. doi: [10.1016/j.jclepro.2019.118103](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118103)
- Malaquias, F. F. d. O., & Silva Junior, R. J. d. (2021). The use of m-government applications: empirical evidence from the smartest cities of brazil. *Information Technology & People*, 34(4), 1357–1369. doi: [10.1108/ITP-05-2020-0346](https://doi.org/10.1108/ITP-05-2020-0346)
- Moraes, M. B. d., Oliveira, E. A. d. A. Q., Silva, J. L. G. d., & Gallardo, A. L. C. F. (2021). Characterization of smart cities dimensions in the metropolitan region of vale do paraíba and north coast - brazil. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 17(3), 61–84. doi: [10.5439/rbgdr.v17i3.6394](https://doi.org/10.5439/rbgdr.v17i3.6394)
- Piekas, A. A. S., Bernardy, R. J., Sehnem, S., & Fabris, J. (2018). Legal aspects and perceptions on strategies for smart and creative cities: Study of the municipality of chapecó (sc). *Urbe-Revista Brasileira de Gestao Urbana*, 10(supl.1), 197–211. doi: [10.1590/2175-3369.010.SUPL1.AO11](https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.SUPL1.AO11)
- Pilo, F. (2021). The smart grid as a security device: Electricity infrastructure and urban governance in kingston and rio de janeiro. *Urban Studies*, 58(16), 3265–3281. doi: [10.1177/00420980209857](https://doi.org/10.1177/00420980209857)
- Przybilowicz, E., Cunha, M. A., Geertman, S., Leleux, C., Michels, A., Tomor, Z., ... Meijer, A. (2020). Citizen participation in the smart city: findings from an international comparative study. *Local government studies*, 48(1), 23–47. doi: [10.1080/03003930.2020.1851204](https://doi.org/10.1080/03003930.2020.1851204)
- Ramalho, M. S., Rossetti, R. J. F., Cacho, N., & Souza, A. (2020). Smartgc: a software architecture for garbage collection in smart cities. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 16(2), 79–93. doi: [10.1504/IJ-BIC.2020.109675](https://doi.org/10.1504/IJ-BIC.2020.109675)
- Sabatini-Marques, J., Yigitcanlar, T., Schreiner, T., Wittmann, T., Sotto, D., & Inkinen, T. (2020). Strategizing smart, sustainable, and knowledge-based development of cities: insights from florianópolis, brazil. *Sustainability*, 12(21), 8859. doi: [10.3390/su12218859](https://doi.org/10.3390/su12218859)
- Sepasgozar, S. M. E. (2021). Differentiating digital twin from digital shadow: elucidating a paradigm shift to expedite a smart, sustainable built environment. *Buildings*, 11(4), 151. doi: [10.3390/buildings11040151](https://doi.org/10.3390/buildings11040151)
- Severo, E. A., & Guimarães, J. C. F. d. (2022). Antecedent and consequents of eco-innovation for sustainability: generations' perceptions in brazil and portugal. *International Journal of Professional Business Review*, 7(1). doi: [10.26668/businessreview/2022.v7i1.280](https://doi.org/10.26668/businessreview/2022.v7i1.280)
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: a review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38(1), 697–713. doi: [10.1016/j.scs.2018.01.053](https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053)
- Whitemoore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. doi: [10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x)

Como citar este artigo (APA):

Mendonça, T. C., Soares, A. L., Cavalcanti, V. O. de M., & Rados, G. J. V. (2024). *Digital Twin em cidades inteligentes no Brasil: uma revisão integrativa da literatura*. *AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento*, 13, 1 – 13. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.5380/atoz.v13.90016>

## NOTAS DA OBRA E CONFORMIDADE COM A CIÊNCIA ABERTA

### CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Papéis e contribuições	Thais Carrier Mendonça	António Lucas Soares	Vanessa Oliveira de Macêdo Cavalcanti	Gregório Jean Varvakis Rados
Concepção do manuscrito	X	X	X	X
Escrita do manuscrito	X	X	X	X
Metodologia	X	X	X	X
Curadoria dos dados	X	X	X	X
Discussão dos resultados	X	X	X	X
Análise dos dados	X	X	X	X

### EQUIPE EDITORIAL

#### Editora/Editor Chefe

Paula Carina de Araújo (<https://orcid.org/0000-0003-4608-752X>)

#### Editora/Editor Associada/Associado Júnior

Karolayne Costa Rodrigues de Lima (<https://orcid.org/0000-0002-6311-8482>)

#### Editora/Editor de Texto Responsável

Fabiane Führ (<https://orcid.org/0000-0002-3723-050X>)

Seção de Apoio às Publicações Científicas Periódicas - Sistema de Bibliotecas (SiBi) da Universidade Federal do Paraná - UFPR

#### Editora/Editor de Layout

Karolayne Costa Rodrigues de Lima (<https://orcid.org/0000-0002-6311-8482>)