



Gêmeos Digitais e Cidades Inteligentes: Uma Revisão Sistemática sobre seu uso na Gestão Pública

Digital Twins and Smart Cities: A Systematic Review of Their Use in Public Management

Ana Cláudia Montania Gomes

Graduanda em Tecnologia em Gestão Pública
Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Pirituba
<https://orcid.org/0009-0006-0833-9326>
ana.montania@aluno.ifsp.edu.br

Dayane Rocha de Souza

Graduanda em Tecnologia em Gestão Pública
Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Pirituba
<https://orcid.org/0009-0003-5363-834X>
dayane.r@aluno.ifsp.edu.br

Larissa de Oliveira Ignacio

Graduanda em Tecnologia em Gestão Pública
Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Pirituba
<https://orcid.org/0009-0005-6277-4372>
i.larissa@aluno.ifsp.edu.br

Wilian Ramalho Feitosa

Doutor em Administração de Empresas
Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Pirituba
<https://orcid.org/0000-0002-7005-4499>
wilian.feitosa@ifsp.edu.br

Nota editorial:

Este artigo é uma versão revisada de trabalho selecionado no *fast-track* do XI Congresso Internacional de Logística do IFSP (IFLOG) para publicação na Revista REGRASP.

Histórico do artigo

Recebido: 22 dez. 2025

Aprovado: 06 mar. 2026

Publicado: 17 mar. 2026

RESUMO

Este artigo apresenta uma revisão sistemática acerca da utilização de Gêmeos Digitais e do que tange Cidades Inteligentes na gestão pública. Ele tem por foco levantar estudos voltados sobre esse tema em países como Brasil, Estados Unidos e China, a fim de salientar as transformações já alcançadas na gestão pública. A partir da investigação sobre os estudos publicados de 2003 até 2025, foram identificadas aplicações de Gêmeos Digitais no planejamento urbano, gestão de recursos da sociedade e transformação digital. Ao longo da revisão, foram identificados avanços e desafios como a existência de obstáculos relacionados à infraestrutura urbana, bem como aspectos técnicos e políticos, que dificultam a efetiva implementação dessas tecnologias. Contudo, quando acompanhadas de políticas públicas voltadas a essa transformação e de estratégias de capacitação para os servidores públicos, tais tecnologias revelam significativo potencial transformador.

Palavras-chave: gêmeos digitais; cidades inteligentes; gestão pública; transformação digital; inovação urbana.

ABSTRACT

This article presents a systematic review of the use of Digital Twins and their relevance to Smart Cities in public management. It focuses on identifying studies on this topic conducted in countries such as Brazil, the United States, and China, in order to highlight the transformations already achieved in public administration. Based on an investigation of studies published between 2003 and 2025, applications of Digital Twins were identified in urban planning, societal resource management, and digital transformation. Throughout the review, advances and challenges were identified, such as obstacles related to urban infrastructure, as well as technical and political aspects that hinder the effective implementation of these technologies. However, when accompanied by public policies aimed at this transformation and training strategies for public servants, such technologies demonstrate significant transformative potential.

Keywords: Digital Twins; Smart Cities; Public Management; Digital Transformation; Urban Innovation.

INTRODUÇÃO

Decorrente da necessidade de avanço da Gestão Pública, o tema Transformação Digital vem sendo frequentemente trabalhado no setor público já que ela é “percebida como lenta e fragmentada, em comparação com a agilidade do setor privado” (Mergel et al., 2019, p. 167). Isto, por muitas vezes, acontece por conta da escassez de velocidade na solução de problemas que a população enfrenta ao utilizar os serviços públicos oferecidos, mas também na gestão das cidades em si que avança de forma morosa com a pouca digitalização e inovação nos serviços prestados. No entanto, em algumas sociedades há a implementação de ferramentas como a de Gêmeos Digitais (GD) que resultam em Cidades Inteligentes (CI) e uma gestão pública mais eficaz, além da criação de leis que buscam executar a política. Um exemplo disso é o próprio Brasil que, visando abrir caminho com objetivo de implementar essa transformação, em 11 de dezembro de 2024, foi instituído o Comitê Interministerial para a Transformação Digital, no Decreto nº 12.308, em seu Art.84, caput, inciso VI, alínea “a”, da Constituição (Brasil, 2024, Decreto nº 12.308). Conforme a Lei Geral de Proteção de Dados [LGPD] (2018), é necessário assegurar a privacidade dos cidadãos. Ademais, em seu artigo 3º ficou disposto que haverá o foco em quatro pilares, sendo eles:

Art. 3º da Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital) consiste em um conjunto de recomendações estratégicas com vistas a orientar as iniciativas do Poder Executivo Federal em transformação digital, com os objetivos de:

1. Ampliar o acesso a serviços públicos;
2. Promover os direitos do cidadão;
3. Fortalecer a democracia e a participação social; e
4. Garantir o desenvolvimento socioeconômico soberano, sustentável e inclusivo, com inovação e aumento da competitividade, da autonomia produtiva e tecnológica e dos níveis de emprego e de renda no País (Brasil, 2024).

Em efeito disso, foi proposta essa revisão sistemática refletindo a seguinte pergunta - Quais aplicações dos Gêmeos Digitais já demonstraram impacto mensurável na eficiência dos serviços públicos? - Com o intuito de entender como está sendo a busca pela inovação tecnológica na gestão pública de algumas sociedades com foco na ferramenta de GD e na visualização de como essas cidades podem estar se tornando inteligente com essas mudanças. Dessa forma, este estudo busca examinar a importância de empregar Gêmeos Digitais e as ideias que envolvem as Cidades Inteligentes, encarando-os como recursos importantes para fomentar a modernização digital na administração pública. Isso será feito por meio de avaliação de obras já publicadas, investigando as ideias básicas, os conceitos de GD e CI, além dos atributos para uso dessas tecnologias. Serão apresentadas as dificuldades que o tema enfrenta para sua implementação integral e os impactos que elas já vêm trazendo nas sociedades que as colocam em prática.

REFERENCIAL TEÓRICO

Gêmeos Digitais

No cenário da Quarta Revolução Industrial, os Gêmeos Digitais se manifestam como simulações digitais que reproduzem espaços físicos em tempo real. De acordo com Lopes e Isatto (2023), tais simulações viabilizam uma demonstração fidedigna de bens materiais, cooperando na avaliação e na inspeção adequada de construções. Michael Grieves apresentou o conceito em 2002, tendo seu foco inicial no setor industrial. Já Schleich et al. (2017) considera que os Gêmeos Digitais são um mecanismo físico e operacional que imita

produtos existentes no espaço digital e Kritzinger et al. (2018) fortalece tal visão, enfatizando a virtualização de partes como alicerce do modelo, ou seja, para dar vaso e forma ao modelo de algo que pode ser imitado. No entanto, em 2011, a ideia obteve relevância na investigação aeroespacial com o modelo sugerido por Zhang (2017), composto por quatro partes: ambiente físico, ambiente virtual, dados e serviços. Essa organização possibilita ensaios simples e escolhas mais exatas.

Cidades Inteligentes

A ideia de Cidades Inteligentes ganhou força após o Fórum Mundial de 1997, que incentivou o uso de tecnologia em diversas cidades Holland (2008).

Apesar de não existir uma definição exata, sugerem que CI empregam recursos digitais para aprimorar serviços à população, diminuir gastos e fomentar a sustentabilidade (Zanella et al., 2014). De acordo com o projeto European Smart Cities 4.0 (2015), que foi criado para dar uma definição do que seria uma cidade inteligente na Europa, há seis categorias que uma cidade precisa possuir para ser considerada “inteligente”, sendo:

- Governança Inteligente;
- Mobilidade Inteligente;
- Utilidades Inteligentes;
- Edifícios Inteligentes e;
- Meio Ambiente Inteligente.

Ou seja, uma gestão pública que intercala seus serviços resultando em IoT (Internet of things) em português Internet das Coisas, que tem a intenção de tornar objetos mais conectados entre si, formando uma estrutura de objetos “inteligentes”, provendo de uma área de interação, gerando serviços facilitados com interação pela internet (Yousif et al., 2021).

Gestão Pública e Inovação Tecnológica

A Administração Pública lida com a gerência do dinheiro da sociedade e com a oferta de serviços a todos. Com a chegada do mundo digital, essa área tem o desafio de usar novas tecnologias que ajudem a ser mais eficiente, clara e com maior envolvimento da população.

A junção entre as simulações digitais para a formação de Cidades Inteligentes é uma forma nova de pensar em uma gestão pública mais rápida e eficaz. De acordo com Levy (n.d), essa união traz melhorias na forma de cuidar da cidade, na manutenção de seus equipamentos e mais segurança para quem vive nela. Li et al. (2023) mostram que, ao copiar o mundo real, os gêmeos ajudam a controlar a energia, a testar o trânsito, a organizar saídas de emergência, a cuidar do meio ambiente e a planejar a cidade de forma inteligente. Em Xangai, por exemplo, há uma estrutura conhecida como “135981”, que faz o uso da ferramenta de Gêmeos Digitais no intuito de ensaiar previamente decisões sobre a gestão da cidade, conectividades em realidade virtual com a finalidade de operar espaços físicos de urbanização Tao & Ni (2025). No Reino Unido, a empresa Vodafone se destacou ao fazer uma duplicata exata de uma rede física da própria empresa sobre o uso de seus serviços pelo Reino Unido, por meio da utilização dos GD, em seus computadores. Dessa maneira, eles conseguiram mapear a área de cobertura que a entidade conseguiu alcançar, promovendo a melhoria de seus serviços (Kewley, 2023).

METODOLOGIA

Com o objetivo de reunir e analisar criticamente estudos que abordam a aplicação dos Gêmeos Digitais e Cidades Inteligentes no avanço da gestão pública, foi conduzida a revisão sistemática. De acordo com Linde & Willich (2003), uma revisão sistemática é um tipo de pesquisa que utiliza estudos já publicados como fonte de dados sobre um tema específico. Seu objetivo é reunir e resumir as evidências existentes sobre uma determinada intervenção, aplicando métodos organizados e criteriosos de busca, análise e síntese das informações. Esse tipo de estudo é especialmente útil para unir resultados de pesquisas anteriores, mesmo

quando há divergência entre eles, e para apontar lacunas de conhecimento que possam orientar novos estudos.

Critérios de seleção e exclusão dos estudos

Os critérios de inclusão definidos foram artigos publicados entre 2003 e 2025, levando em consideração que o termo Gêmeos Digitais foi introduzido no meio acadêmico pela primeira vez em 2002, tendo em vista que a maioria dos estudos foi inserido a partir do ano seguinte. Foram selecionados trabalhos com acesso aberto, estudos em português e inglês, trabalhos que abordem no título Gêmeos Digitais, Cidades Inteligentes e/ou sua aplicação na gestão pública, além de fontes acadêmicas como artigos científicos, documentos institucionais (relatórios técnicos e documentos governamentais), teses e dissertações. Já os critérios de exclusão compreendem artigos duplicados, estudos que tratem exclusivamente de aspectos técnicos sem relação com gestão pública e publicações sem acesso ao texto completo.

Realização das strings de busca

Foram selecionadas palavras-chave em português e inglês para ampliar o alcance da busca:

- “Gêmeos Digitais” / “Digital Twins”;
- “Cidades Inteligentes” / “Smart Cities” e;
- “Gestão Pública” / “Public Management”.

Formulação das strings de busca

Os termos foram combinados com os operadores booleanos:

- OR: para unir sinônimos e;
- AND: para conectar os temas principais. Isso resultou na string:

(“Digital Twins” OR “Gêmeos Digitais”) AND (“Smart Cities” OR “Cidades Inteligentes”) AND (“Gestão Pública” OR “Public Management”).

Inserção das strings nas bases de dados

As mesmas strings foram copiadas e coladas nas buscas avançadas no campo título das seguintes bases: Scielo, IEEE Xplore, ScienceDirect, BDTD (Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações) e Portal CAPES. Ademais, a primeira busca por “Digital Twins”, “Smart Cities” e “Digital Twins and Smart Cities in Public Management” foi feita sem nenhum tipo de filtro, sem período de data definido, forma de acesso, autor, tipo de documento, entre outras formas de filtro que cada site disponibiliza. Logo, apenas foram feitas pesquisas pela função todos os Índices, depois se aprofundando nos títulos e, por fim, por resumos que poderiam conter as palavras-chave. Com isso surgiu a seguinte tabela de resultados.

Tabela 1 – Resultado de busca das strings nas bases de dados escolhida sem aplicação de filtros.

Base de Dados	“Digital Twins”			“Smart Cities”			Digital Twins and Smart Cities in Public Management		
	Por todos os Índices	Por título	Por resumo	Por todos os Índices	Por título	Por resumo	Por todos os Índices	Por título	Por resumo
Scielo	3	1	7	62	29	68	0	0	0
IEEE Xplore	17.074	6.766	9.669	47.892	10.898	16.923	0	0	0
ScienceDirect	27.461	3.862	7.151	35.763	2.419	5.958	0	0	0
Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações	52	10	50	585	54	567	0	0	0
Portal CAPES	26.227	12.075	9.367	68.743	24.358	39.119	0	0	0

Total	119.775	263.898	0
--------------	---------	---------	---

Fonte: Elaborado pelas autoras (2025)

Como exposto na tabela, ao todo foram encontrados 383.673 trabalhos entre artigos, teses, dissertações, relatórios e livros com os determinados strings “Digital Twins” e “Smart Cities”. No entanto, quando pesquisado o conjunto “Digital Twins and Smart Cities in Public Management” por meio dessas bases não foram encontrados artigos ou outros documentos sobre o termo sendo por todos os índices, título ou resumo.

Aplicação de filtros

Após rodar a busca, foram selecionados filtros para serem aplicados e refinar os resultados valendo-se do foco da pesquisa que seria Gêmeos Digitais e Cidades Inteligentes na Gestão Pública. Tendo por resultado:

Tabela 2 – Resultado de busca dos String nas Bases de Dados com aplicação dos filtros.

Base de Dados	“Digital Twins”	“Smart Cities”	"Digital Twins" and "Smart Cities" in "Public Management"
Scielo	2	50	0
IEEE Xplore	0	0	0
ScienceDirect	1.346	218	0
Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações	10	54	0
Portal CAPES	979	2.687	0
Total	2.355	3.009	0

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Coleta dos resultados

Depois da aplicação dos filtros, foram obtidos 5.364 trabalhos com os temas “Digital Twins” e “Smart Cities”. Porém, de acordo com a busca do conjunto "Digital Twins" and "Smart Cities" in "Public Management" novamente não foram encontrados trabalhos sobre. Sendo assim, ainda não há artigo, de acordo com essas bases, que relacione ambos os temas vinculando o uso para a transformação da Gestão Pública, o que corrobora a sugestão do estudo proposto.

Triagem inicial

Foi realizada a leitura de títulos que mais se aproximassem da ideia de mesclar Gêmeos Digitais, Cidades Inteligentes e Gestão Pública, além dos resumos para verificação de aderência ao tema. Após essa etapa, 30 estudos permaneceram para análise. Já os rejeitados não forneciam base suficiente para se relacionar com o uso de GD e CI na Gestão Pública.

Análise e categorização dos resultados

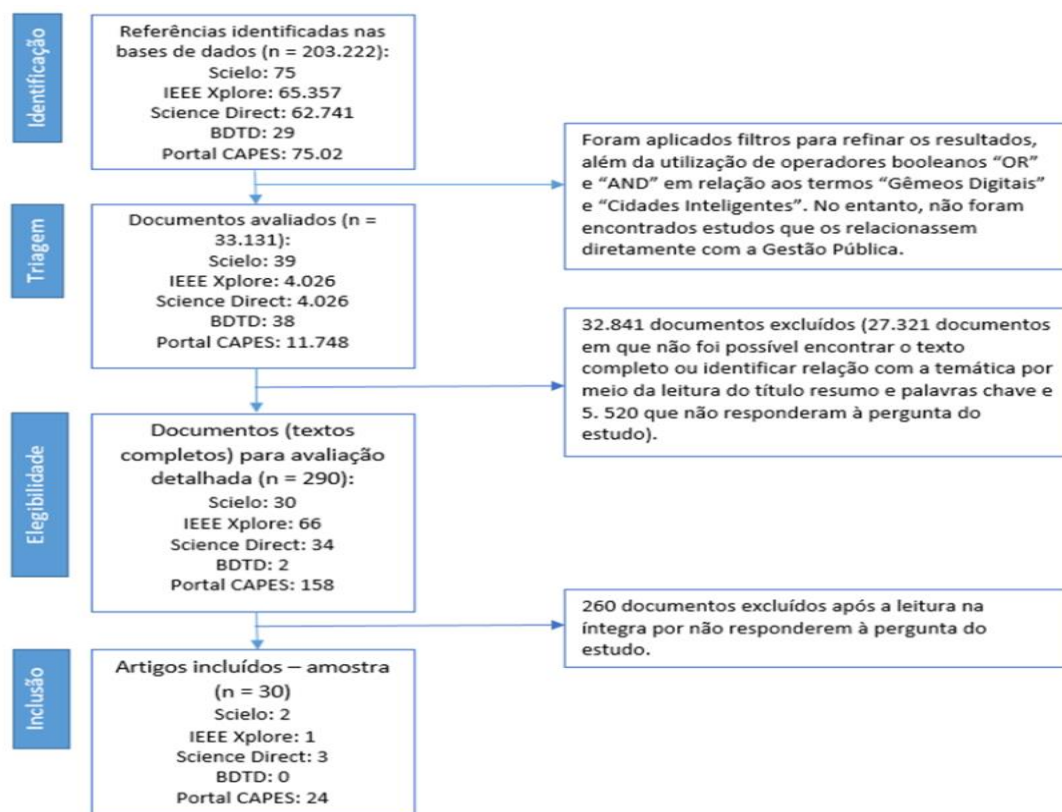
Foram organizados os estudos selecionados em uma matriz de análise contendo autor (es) e ano; objetivo do estudo; tipo de pesquisa (teórica, empírica, estudo de caso); tecnologias abordadas; aplicações na gestão pública e resultados e contribuições. Além de ter sido feita a categorização em três eixos temáticos, conforme abordado por Li, Chen & Kong (2023) e por análise adotou abordagem qualitativa, trazendo identificação de padrões, convergências e lacunas nos estudos, como foi sugerido por Tao & Zhang (2017).

- I. Tecnologias e Infraestrutura: trazendo abordagens técnicas e arquiteturas digitais;
- II. Governança e Políticas públicas: com impactos na formulação e execução de políticas e;
- III. Participação Cidadã e Transparência: o uso das tecnologias para engajamento social.

Fluxograma de prisma e matriz de síntese

Para sintetizar as ideias propostas pelo trabalho, foi feito o seguinte quadro de Fluxograma de PRISMA e Matriz de Síntese.

Quadro 1 – Fluxograma de PRISMA das ideias e informações dispostas no texto



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Quadro 2 – Matriz de Síntese das ideias e informações dispostas no texto

Objetivos da Pesquisa	Método	Fontes de Evidência	Técnicas de Análise	Dimensões Relacionadas (Quadro II)	Resultados / Contribuições Esperadas
Examinar a importância de empregar Gêmeos Digitais e Cidades Inteligentes	Pesquisa bibliográfica e revisão sistemática	Livros, artigos científicos, relatórios institucionais, documentos oficiais	Análise qualitativa e categorial	Tecnologia e Infraestrutura	Identificar como GD e CI melhoram planejamento urbano, gestão de recursos e inovação pública
Identificar o que tem sido discutido sobre GD e CI de 2003 a 2025	Pesquisa bibliográfica	Artigos científicos (bases Scielo, IEEE, ScienceDirect etc.)	Levantamento histórico e análise de frequência	Tecnologia e Infraestrutura / Governança	Mapear evolução dos conceitos, usos reais e tendências
Investigar as ideias básicas e os conceitos de GD e CI	Revisão sistemática	Estudos teóricos (Grieves, Tao, Zanella etc.)	Análise conceitual	Tecnologia e Infraestrutura	Consolidar definições principais e relação GD-CI

Levantar dificuldades, impactos positivos e negativos para a Gestão Pública	Pesquisa bibliográfica	Relatórios institucionais, estudos aplicados	Análise temática e categorização por eixos	Governança e Políticas Públicas / Participação e Transparência	Identificar desafios técnicos, políticos e sociais
Relacionar GD e CI com aplicações reais na gestão pública mundial	Revisão sistemática com triagem	Estudos de caso internacionais	Síntese integrativa	Todas as dimensões	Demonstrar impacto das tecnologias no planejamento e na eficiência dos serviços públicos

Fonte: Elaborado pelas autoras.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar-se os estudos selecionados revelou-se progressos significativos na aplicação de Gêmeos Digitais e tecnologias de Cidades Inteligentes voltadas à gestão pública. Os resultados foram organizados em quatro eixos principais, como as principais aplicações dos Gêmeos Digitais na Gestão Pública. Além da modelagem de Infraestruturas urbanas que trazem simulação de pontes, redes de energia, sistemas de transporte e edificações públicas para prever falhas e otimizar manutenção. O planejamento urbano vem com o uso dos gêmeos digitais para testar cenários de expansão urbana, impacto ambiental e reorganização territorial. Já a gestão de recursos hídricos e energéticos fazem o monitoramento em tempo real e simulações para reduzir desperdícios e melhorar a distribuição. A resposta a emergências vem com simulações de desastres naturais e crises sanitárias para apoiar decisões rápidas e eficazes.

Casos de usos em Cidades Inteligentes

A mobilidade urbana traz integração de sensores e dados em tempo real para otimizar rotas, reduzir congestionamentos e planejar ciclovias e transporte público. A segurança pública é aprimorada com o uso de câmeras inteligentes, análise preditiva e simulações para reforçar o patrulhamento e prevenir crimes. A área da saúde faz uso do monitoramento de indicadores populacionais, gestão de hospitais e simulações de surtos epidemiológicos. No meio ambiente, há o controle da qualidade do ar, gestão de resíduos e simulações de impacto ambiental em projetos urbanos.

Benefícios observados

- Eficiência Operacional: traz uma redução de custos com manutenção preventiva, melhor alocação de recursos e agilidade na tomada de decisão;
- Transparência Governamental: possibilita a disponibilização de dados abertos e visualizações acessíveis para a população e;
- Participação Cidadã: com o uso de plataformas digitais que permitem simulações participativas e coleta de sugestões da sociedade civil.

Barreiras técnicas e políticas

É evidente que para cada proposta de inovação há barreiras técnicas e políticas para sua implementação. De acordo com Zanella, Vangelista & Bui (2014), no cenário político atual, um dos principais empecilhos é a distribuição de poder de decisão para os diferentes interessados nessas mudanças. Porém, uma forma de solucionar esse ponto seria agrupar o planejamento estratégico que fomenta e monta a estrutura para efetivar a Cidade Inteligente em um departamento, no caso da prefeitura, uma secretaria específica, voltada a essa finalidade.

Em relação às questões técnicas, o principal problema é que as diferentes tecnologias usadas nas cidades não são compatíveis entre si, o que pode ser solucionado por meio de investimento financeiro por parte do município em IoT para interligar os sistemas da cidade. Em síntese, os autores apontam como principais problemas a infraestrutura limitada, com ausência de conectividade adequada e sensores em áreas periféricas; a capacitação técnica, devido à escassez de profissionais qualificados para operar e interpretar modelos digitais; a governança de dados, com desafios relacionados à interoperabilidade, segurança e privacidade das informações; a resistência institucional, com dificuldade de adaptação de órgãos públicos a modelos digitais e inovação disruptiva; e a legislação defasada, pela ausência de marcos regulatórios que contemplem o uso.

Assim, as análises dos dados selecionados evidenciam como os Gêmeos Digitais integrados às propostas de cidades inteligentes, se mostram uma inovação relevante em vista de que representam uma mudança de jogo para projetos com elevado potencial de transformação dentro da gestão pública (Tao & Zhang, 2017). Desse modo, discutimos os quatro principais achados nessa área: contextos de aplicação, formulação de políticas públicas, integração tecnológica e implicações sociopolíticas.

Comparação entre diferentes contextos de aplicação

Como demonstram os casos acima, há diferenças relevantes na implementação dos Gêmeos Digitais, influenciadas pela maturidade tecnológica, infraestrutura urbana e cultura de governança (Li, Chen, & Kong, 2023). Conforme visto, na China e no Reino Unido, a utilização dos gêmeos digitais para evacuação, experimentação de tráfego e interoperabilidade intermunicipal é uma realidade consolidada, conforme Liu et al. (2018). No Brasil, entretanto, esses modelos ainda estão em fase piloto, tendo como enfoque prioritário a mobilidade urbana, iluminação pública e ordenamento urbanístico (Lopes & Isatto, 2023).

A diversidade apontada representa a universalidade dos potenciais dos Gêmeos Digitais, mas a condição da sua realização em iniciativas locais, levando em conta as características das políticas públicas, infraestrutura, investimento e habilidades técnicas treinadas. Isso pode ser exemplificado pela preferência de cidades densamente povoadas por aplicativos de segurança e mobilidade, em comparação com a preferência de cidades menores por iniciativas de saneamento e gestão ambiental (Ferrarezi, 2023).

Potencial transformador para formulação de políticas públicas

Os Gêmeos Digitais são laboratórios urbanos virtuais, ou seja, possibilitam a simulação de políticas públicas antes de sua realização extramuros (Tao & Zhang, 2017). Assim, a predição é a principal inovação disruptiva no que tange à lógica de gestão pública, deixa de ser reativa e passa a ser proativa. Um exemplo na prática é o trabalho fornecido pela empresa estadunidense Matterport 3, que busca digitalizar o cenário da construção civil através dos Gêmeos Digitais por meio de uma captura de espaços físicos por imagens feitas por câmeras especiais em que são registradas as dimensões no sistema de nuvem e replicada fisicamente em um modelo 3D. Assim, eles trazem uma inovação disruptiva no que tange à lógica que pode ser implementada, também na gestão pública municipal, podendo antever o funcionamento de algum projeto antes de investir financeiramente no mesmo.

Dessa maneira, por meio dessas ferramentas, por se tratar da gestão pública de uma sociedade, há a possibilidade inserir esses instrumentos para que haja a promoção do monitoramento em tempo real dos dados urbanos que propicia mais transparência e comprometimento social, uma vez que os cidadãos podem acompanhar tomadas de decisões e propor contribuições. Além de ter a oportunidade de projetar o teste de uma política pública ou equipamento formulado para a população, antes de sua implementação. Assim, é possível fortalecer a governança participativa e conferir maior legitimidade às ações públicas.

Integração com tecnologias emergentes

Uma quantidade significativa dos Gêmeos Digitais deriva de sua eficácia no que tange a sua integração com tecnologias emergentes. Isso inclui capacidade de conexão com a Big Data, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA), estas fornecem informações em tempo real por meio de sensores instalados em uma cidade, analisam os padrões e propõem soluções junto com o armazenamento e cruzamento de grandes volumes de informações. Essa análise de dados e padrões podem adaptar o comportamento automaticamente, permitindo ao gestor maior visibilidade do problema (Li, Chen, & Kong, 2023).

Assim, as aprendizagens entre as cidades inteligentes tecnológicas proporcionam uma governança urbana preditiva, preparada para evitar falhas, otimizar recursos e reagir com rapidez a problemas potenciais ou emergenciais. Portanto, a transferência de informações e a interoperabilidade dos sistemas é um ponto decisivo para o sucesso da projeção dessas cidades (Ferrarezi, 2023).

Implicação para os cidadãos e os gestores públicos

Para o cidadão, a inovação pode oferecer maior acesso à informação, maiores oportunidades de participação e prestações de serviço de melhor qualidade. No entanto, é crucial promover a inclusão digital dos cidadãos para garantir que ela não aumente a segregação, assim como comprometa a privacidade deles (Rede Juntos, 2023). Já para os gestores públicos, os Gêmeos Digitais são uma ferramenta estratégica de suporte à tomada de decisão e planejamento e ao monitoramento (Lopes & Isatto, 2023).

Embora permitam mais eficácia na gestão e desenvolvimento urbano, além de que seu uso depende de competência em analisar dados, modelagem digital, competência integrada que pode ser adquirida por meio de investimento em capacitação e reestruturação de instituições (Ferrarezi, 2023).

Modelos de governança digital

A governança multinível busca investigar a distribuição de competências entre diferentes esferas governamentais (Kooiman, 2003), recomendando o desenvolvimento de frameworks multinível que promovam a interoperabilidade entre sistemas nacionais e locais, evitando sobreposições. A governança colaborativa, proposta por Ansell & Gash (2008), sugere a integração entre Estado, setor privado, universidades e sociedade civil, com criação de comitês gestores intersetoriais para acompanhar projetos-piloto e ampliar a transparência das decisões.

A governança de dados explora estratégias para assegurar qualidade, privacidade e conformidade legal (LGPD), implementando protocolos de dados abertos e anonimizados para garantir inovação com segurança. A governança baseada em evidências, segundo Head (2010), analisa como os Gêmeos Digitais podem apoiar a formulação de políticas públicas orientadas por dados, recomendando a criação de laboratórios urbanos digitais para simulações antes da implementação de políticas. Já a governança adaptativa e resiliente, conforme Folke et al. (2010), investiga mecanismos para assegurar a continuidade dos serviços digitais em contextos de crise, propondo planos de gestão de riscos cibernéticos em contratos públicos.

Recomendações para políticas públicas baseadas em evidências

A formulação de políticas públicas deve ser orientada por evidências que considerem as especificidades locais e as necessidades da população. A adoção de Gêmeos Digitais e a promoção de Cidades Inteligentes devem ser acompanhadas por estratégias de capacitação e inclusão digital que envolvam todos os atores sociais. Além disso, é fundamental estabelecer mecanismos de governança que garantam a transparência, a participação cidadã e a equidade no acesso aos serviços públicos digitais. É necessário investir em capacitação contínua de servidores públicos, desenvolvendo programas de formação técnica e transversal (dados, privacidade, ética) para gestores e servidores (ENAP, 2022; Serpro, 2022).

Também é importante criar laboratórios de inovação e plataformas de simulação que permitam aprendizado prático no uso de Gêmeos Digitais (Prefeitura de São Paulo, 2023). A inclusão digital da população deve ser promovida pela ampliação do acesso à conectividade em áreas periféricas e populações vulneráveis, implementando programas de alfabetização digital e incentivando o uso de serviços digitais e participação cidadã (Zeferino, 2024). É essencial criar centros públicos de acesso e participação, garantindo que todos os cidadãos possam interagir com plataformas digitais de planejamento urbano (Lima et al., 2015). Deve-se ainda estabelecer mecanismos de governança baseados em evidências, integrando indicadores de desempenho e impacto social no monitoramento das iniciativas de Cidades Inteligentes (FGV Direito Rio, 2022) e utilizando dados para embasar decisões estratégicas e avaliação contínua de resultados (Silva, 2024).

Estratégias de capacitação e inclusão digital

A capacitação contínua de gestores e servidores públicos é essencial para o aproveitamento pleno das tecnologias digitais. Estudos indicam que a formação técnica em áreas como análise de dados, governança digital e uso de plataformas de Gêmeos Digitais contribui para a melhoria da eficiência administrativa e da tomada de decisões (Batty, 2021). Além disso, a educação transversal em ética e privacidade prepara as equipes para lidar com questões relacionadas à segurança da informação e ao uso responsável das tecnologias.

A inclusão digital da população é fundamental para garantir que todos tenham acesso aos benefícios das Cidades Inteligentes. A ampliação do acesso à conectividade em áreas periféricas e a implementação de programas de alfabetização digital são medidas que promovem a equidade no acesso aos serviços públicos digitais. Segundo a Organização das Nações Unidas (2023), a transformação digital deve ser centrada no cidadão, assegurando que ninguém seja deixado para trás.

Indicadores de desempenho e impacto social

Para avaliar a eficácia das políticas implementadas, é necessário estabelecer indicadores de desempenho e impacto social. A redução de custos e tempo na execução de serviços públicos, a otimização do trânsito e o monitoramento ambiental são exemplos de indicadores de desempenho que refletem a eficiência das soluções adotadas. Já a satisfação e percepção cidadã, a participação comunitária e a equidade no acesso a benefícios urbanos são indicadores de impacto social que evidenciam os efeitos das tecnologias na qualidade de vida da população (Silva & Oliveira, 2024).

Os indicadores de desempenho incluem eficiência administrativa, uso das plataformas digitais, qualidade dos dados e tempo de resposta e tomada de decisão. Já os indicadores de impacto social envolvem inclusão digital da população, satisfação e percepção cidadã, participação comunitária e equidade urbana (Zeferino, 2024; IDB, 2020; Lima et al., 2015; Gozzi et al., 2024).

Quadro 3 - Síntese analítica dos resultados e discussões sobre os Gêmeos Digitais e Cidades Inteligentes na Gestão Pública.

Dimensão	Resultados da Revisão Sistemática	Discussão Teórica e Implicações
Aplicações Funcionais	Modelagem de infraestruturas críticas; planejamento territorial; gestão hídrica e energética; resposta e emergências.	Diferenças contextuais entre países; maturidade tecnológica e cultura institucional como fatores condicionantes; priorização de aplicações conforme perfil urbano.

Casos de Uso em Cidades Inteligentes	Mobilidade Urbana; segurança pública; saúde populacional; gestão ambiental.	Adaptação conforme densidade populacional e infraestrutura; cidades densas priorizam mobilidade e segurança, enquanto cidades menores focam em saneamento e resíduos.
Benefícios Observados	Eficiência operacional; transparência governamental; participação cidadã.	Transformação da lógica de gestão pública: de reativa para preditiva; fortalecimento da governança participativa; simulação prévia de políticas públicas como inovação disruptiva.
Integração Tecnológica	Uso de sensores urbanos; simulações digitais; coleta e análise de dados em tempo real.	Convergência com Big Data, IoT e IA; Interoperabilidade como fator crítico; governança preditiva e adaptativa; transferência de soluções entre cidades inteligentes.
Barreiras Técnicas e Políticas	Infraestrutura limitada; escassez de profissionais; problemas de interoperabilidade; resistência institucional; legislação obsoleta.	Necessidade de inclusão digital; capacitação técnica como pré-requisito; reestruturação institucional; revisão normativa para viabilizar inovação.
Modelos de Governanças Digital	(Implícito nos resultados)	Multinível (Kooiman, 2003); colaborativa (Ansell & Gash, 2008); governança de dados (LGPD); baseada em evidências (Head, 2010); adaptativa e resiliente (Folke et al., 2010).

Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos estudos revisados (Ferrarezi, 2023; Tao & Zhang, 2017; Li, Chen, & Kong, 2023; Kooiman, 2003; Ansell & Gash, 2008; Lei Geral de Proteção de Dados [LGPD], 2018; Head, 2010; Folke et al., 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão integrativa realizada evidência que os Gêmeos Digitais, quando integrados às propostas de Cidades Inteligentes, representam um avanço estratégico e transformador para a gestão pública municipal de São Paulo. As aplicações identificadas demonstram seu potencial em áreas como planejamento urbano, gestão de recursos captados pela prefeitura, segurança pública, mobilidade e saúde, gerando maior eficiência operacional, qualidade nos serviços prestados e engajamento social.

Entretanto, os resultados também apontam desafios como a limitação de infraestrutura tecnológica, por falta de um investimento financeiro significativo, por parte do município, para a implementação real dela. Além da necessidade de capacitação de gestores e servidores públicos, com ferramentas ligadas a IoT e outros sistemas de dados governamentais que regem a gestão pública e as tomadas de decisões para serviços voltados ao benefício da sociedade. Ademais, a falta de centralização de uso de instrumentos como o do Gêmeos Digitais em um departamento específico da máquina pública, também é um obstáculo para efetivar essas inovações. Tais obstáculos reforçam a importância de políticas públicas consistentes, investimentos contínuos em inovação e programas de formação profissional.

Dessa forma, conclui-se que os Gêmeos Digitais têm potencial para se consolidar como ferramenta essencial no planejamento e na execução de políticas urbanas mais inclusivas, sustentáveis e benéficas para a sociedade. Contudo, sua efetividade dependerá do equilíbrio entre inovação tecnológica, investimento por parte do município na combinação dessas ferramentas e na delegação e centralização desse plano em um órgão específico da cidade.

Esses são elementos indispensáveis para a implementação de novas tecnologias em prol do fortalecimento da gestão pública e do desenvolvimento de uma cidade mais inteligente.

REFERÊNCIAS

- Ansell, C., & Gash, A. (2008). Collaborative governance in theory and practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18(4), 543–571. <https://doi.org/10.1093/jopart/mum032>
- Batty, M. (2021). Digital twins and smart cities: A new urban science. *Journal of Urban Technology*, 28(1–2), 9–17. <https://doi.org/10.1080/10630732.2021.1894735>
- Brasil. Presidência da República. Secretaria de Governo Digital. (2024, dezembro 12). *Estratégia Brasileira para a Transformação Digital – E-Digital*. Diário Oficial da União, seção 1(239), 9. <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=12/12/2024&jornal=515&pagina=9&totalArquivos=248>
- ENAP. Escola Nacional de Administração Pública. (2021). *Relatórios e estudos sobre transformação digital*. Brasília: ENAP.
- Ferrarezi, T. (2023, julho 31). Gêmeos digitais: potencial transformador no planejamento urbano. *Migalhas*. <https://www.migalhas.com.br/depeso/387251/gemeos-digitais-potencial-transformador-no-planejamento-urbano>
- FGV Direito Rio. (2022). *Governança de dados no setor público*. Rio de Janeiro: FGV. <https://diretorio.fgv.br/publicacao/governanca-de-dados-no-setor-publico>
- Folke, C., Parnell, J., Fabricius, C., et al. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4). <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>
- Gozzi, R., Silva, M., & Lima, T. (2024). *Cidades inteligentes e inclusão digital*. Florianópolis: UDESC.
- Grieves, M. (2014). *Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication*. https://www.researchgate.net/publication/262692744_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication
- Head, B. W. (2010). Reconsidering evidence-based policy: Key issues and challenges. *Policy and Society*, 29(2), 77–94. <https://doi.org/10.1016/j.polsoc.2010.03.001>
- IDB. Inter-American Development Bank. (2020). *Smart cities study: The potential of urban technologies for public service delivery*. Washington, D.C.: IDB.
- Kewley, K. (2023, maio 7). Gêmeos digitais: os mundos que estão mudando a forma como as empresas funcionam. *Forbes Brasil – Forbes Tech*. <https://forbes.com.br/forbes-tech/2023/05/gemeos-digitais-os-mundos-que-estao-mudando-a-forma-como-as-empresas-funcionam>
- Kitchin, R. (2020). The ethics of smart cities and urban science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2183). <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0375>
- Kooiman, J. (2003). *Governing as governance*. Londres: Sage Publications.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC PapersOnLine*, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>

- Levy B., G. E. (n.d.). Gêmeos digitais transformam cidades inteligentes. *Andina Link Smart Cities*. <https://www.andinalinksmartcities.com/gemeos-digitais-transformam-cidades-inteligentes>
- Li, L., Chen, T., & Kong, Q. (2023). Problems and solutions of digital twin technology application under river chief system. *IEEE Access*, 11, 1–12. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3245678>
- Linde, K., & Willich, S. N. (2003). How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 96(1), 17–22. <https://doi.org/10.1177/014107680309600105>
- Liu, Y., Nee, A. Y. C., Tao, F., & Zhang, M. (2018). Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment. *CIRP Annals*, 67(1), 169–172. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.03.050>
- Lopes, J. M., & Isatto, E. L. (2023, abril 14). Gêmeos digitais como auxiliares na inspeção e manutenção de estruturas. *Gestão & Produção*. <https://pressreleases.scielo.org/blog/2023/04/14/gemeos-digitais-como-auxiliares-na-inspecao-e-manutencao-de-estruturas>
- Organização das Nações Unidas. (2023). *Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*. Nova York: ONU.
- Prefeitura de São Paulo. (2023). *Programa de cidades inteligentes*. São Paulo: PMSP.
- Rede Juntos. (2025). O potencial dos gêmeos digitais para o setor público. <https://redejuntos.org.br>
- Schleich, B., Danks, T., Wiesner, S., & Thomas, U. (2017). Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Annals*, 66(1), 141–144. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.040>
- SERPRO. (2022). *Serviços e soluções digitais para o governo*. Brasília: SERPRO.
- Silva, R., & Oliveira, M. (2024). Gêmeos digitais: a próxima revolução da construção civil. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/388856180_Gemeos_digitais_a_proxima_revolucao_da_construcao_civil
- Silva, R. M. (2020). Cidades inteligentes e transformação digital. *Revista de Administração Pública*, 54(3), 321–340. <https://doi.org/10.1590/0034-761220190123>
- Yousif, M., Hewage, C., & Nawaf, L. (2021). IoT technologies during and beyond COVID-19: A comprehensive review. *Future Internet*, 13(5), 105. <https://doi.org/10.3390/fi13050105>
- Zeferino, A. (2024). *Governança digital e participação cidadã*. Curitiba: Editora UFPR.
- Zhang, T., Li, W., & Liu, Q. (2018). A new architecture of digital twin based on cyber-physical system. *Procedia CIRP*, 72, 206–211. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.041>