

# MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA DE GÊMEOS DIGITAIS APLICADOS À CIRCULARIDADE URBANA

**Palavras-Chave:** Circularidade Urbana, Gêmeos Digitais, Modelagem da Informação da cidade

**Autores(as):**

**Victor Yuji Kubo Machado, FECFAU – UNICAMP**

**Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. Marcela Noronha Pinto Oliveira Sousa (orientador(a)), FECFAU - UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

Atualmente, cerca de 54% da população mundial vive em áreas urbanas e é responsável por gerar mais de 85% do PIB global (The Ellen MacArthur Foundation, 2019; United Nations, 2014). Além disso, as cidades consomem 75% dos recursos naturais, geram 50% da produção global de resíduos e entre 60% e 80% das emissões de gases com efeito estufa. Esta disparidade tende a agravar-se, visto que existe uma tendência global de urbanização que trará mais de 25% da população mundial para os centros urbanos até 2050, em busca de uma melhor qualidade de vida (Sukhdev et al., 2017). Conseqüentemente, tem havido um aumento de demandas por infraestrutura urbana e por recursos, como água, energia, alimentos e bens de consumo.

Ademais, setores como os de gestão de resíduos, de fontes de energia renováveis, de gestão de água, de transporte e desenvolvimento econômico estão em um ponto crítico para sua reestruturação (D'Amico et al., 2022). Estes aspectos devem-se ao fato de que o sistema econômico global se baseia num sistema linear de consumo, caracterizado pela alta geração de resíduos e baixa reutilização e regeneração.

Portanto, é urgente que as cidades passem por uma transição deste modelo linear para uma economia caracterizada pela circularidade, um dos maiores desafios atuais para um mundo desenvolvido e sustentável (Çetin; De Wolf; Bocken, 2021). Segundo a Nova agenda Urbana (Organização das Nações Unidas, 2019, p. 19), as cidades devem “fortalecer a gestão sustentável dos recursos, facilitando a conservação, regeneração, restauração e resiliência do ecossistema frente aos desafios novos e emergentes”. Isso só será possível a partir da transição para uma economia circular, que caracteriza-se por apoiar o desenvolvimento sustentável, garantindo os recursos necessários para sustentar gerações atuais e futuras, minimizando a entrada de resíduos e emissões (Konietzko; Bocken; Hultink, 2020).

Existem diversos estudos sobre a circularidade urbana, entretanto, observa-se que sua maioria estão concentrados na edificação, na mobilidade ou na manufatura individualmente, visando alcançar a circularidade em cada um destes subsistemas (Çetin; De Wolf; Bocken, 2021; Preut; Kopka; Clausen, 2021; Sukhdev et al., 2017; The Ellen MacArthur Foundation, 2019). Quando nos referimos a um sistema maior e mais complexo como as cidades, é necessário estudar estes subsistemas de forma integrada, pois se cada um deles continuar a produzir resíduos, mesmo que em quantidades mínimas, a soma continuará a ser considerável dentro dos sistemas urbanos. Isto fica claro na definição de economia circular de Kirchherr et al. (2017, p. 224–225).

Para Cetim et. al. (2021), a falta de ferramentas de comunicação e coordenação intersetorial precisam ser abordadas, a fim de permitir a ampla implementação de um modelo circular viável. Neste sentido, é necessário

que haja a digitalização da circularidade, possibilitando a coleta de dados precisos e em tempo real sobre os subsistemas urbanos, integrando-os para analisar se o que é desperdiçado em um pode ser reutilizado em outro, alcançando assim a máxima circularidade nas cidades e regiões. Para Sukhdev et al. (2017, p. 3) “a tecnologia digital tem o potencial de identificar os desafios dos fluxos de materiais nas cidades, delinear as principais áreas de resíduos estruturais e informar uma tomada de decisão mais eficaz sobre como enfrentar estes desafios e fornecer soluções sistêmicas”. Além disso, ele também destaca que “o modelo de economia circular, enriquecido com as sinergias da tecnologia, é um modelo poderoso e uma combinação com potencial altamente produtivo.” (Sukhdev et al., 2017, p. 10).

Assim, a digitalização da circularidade é fundamental para direcionar o sistema urbano para caminhos sustentáveis e desenvolvidos (Arbolino et al., 2018; Ingrao et al., 2018). Neste sentido, Çetin et al. (2021) identificaram os gêmeos digitais como uma das dez ferramentas digitais com maior potencial de facilitar a economia circular no ambiente construído.

Os gêmeos digitais são capazes de fornecer uma réplica virtual de algo já existente no mundo físico, permitindo que sejam capazes de aumentar a eficiência operacional, permitir recursos otimizados, melhorar a gestão de ativos, entregar economia de custos e melhorar a produtividade. Já são comumente usados em diversos setores, como nas indústrias automotivas, aeroespaciais e indústrias de simulação de desempenho (Çetin; De Wolf; Bocken, 2021; Doody, 2019). Além disso, os gêmeos digitais também podem ser aplicados nas cidades. Doody (2019, p. 50) acredita que esta aplicação proporciona um ambiente de simulação no qual as interdependências podem ser explicitadas, funcionando como um campo de testes para políticas públicas e planejamento urbano, ao mesmo tempo que permitem o envolvimento e a colaboração da comunidade.

Bozeman et al. (2023) identificaram a circularidade e os gêmeos digitais como duas de três prioridades de pesquisa para alcançar sistemas urbanos sustentáveis. No entanto, as pesquisas concentrando-se na interseção entre estes dois aspectos ainda são insipientes, ilustrado pelo número de publicações no tema, que tem recebido maior atenção a partir de 2015 (Çetin; De Wolf; Bocken, 2021).

Portanto, é necessário compreender o potencial da aplicação de gêmeos digitais à economia circular e quais são as ferramentas computacionais e os fluxos de trabalho utilizados no campo, a fim de elaborar um arcabouço teórico para o tema que possa ser utilizado para o desenvolvimento de um protocolo de como elaborar gêmeos digitais para aplicação ao planejamento e à gestão da economia circular na escala urbana. Os parques científicos e tecnológicos existentes no entorno de campi universitários brasileiros, que muitas vezes ocupam terrenos destas universidades ou de propriedade do estado em franjas urbanas, precisarão passar por transformações em sua infraestrutura urbana para adequarem-se ao modelo de inovação de quintupla hélice proposto por Carayannis; Barth; Campbell (2012) e manterem-se relevantes para o desenvolvimento sustentável nas próximas décadas (Buffa; Pinto, 2016; Faria et al., 2021; Noronha; Canuto da Silva; Celani, 2023). Estes territórios representam uma oportunidade para desenvolver e testar abordagens, tecnologias e políticas para o planejamento, a gestão e o projeto urbanos em ambiente escalas reduzida e controlada, para o seu refinamento e posterior aplicação às cidades como um todo (Noronha; Canuto da Silva; Celani, 2023; Sanches; Celani, 2023).

Neste sentido, propõe-se que este recorte de parques científicos e tecnológicos em franjas urbanas, em processo de requalificação de suas infraestruturas para a adequar-se aos objetivos do desenvolvimento sustentável, seja utilizado como estudo de aplicação para desenvolver este protocolo para a aplicação de gêmeos digitais ao planejamento e gestão da circularidade urbana.

## **METODOLOGIA:**

Por se tratar de uma pesquisa iniciada em junho de 2024, algumas etapas ainda não foram completamente desenvolvidas. Entretanto, prevê-se sua conclusão até novembro de 2024, data da realização do evento.

Os métodos principais utilizados neste estudo foram o mapeamento sistemático da literatura e a revisão sistematizada (Grant; Booth, 2009). Os procedimentos foram divididos em três etapas principais. O primeiro passo foi o desenvolvimento do protocolo de busca, e inclusão e exclusão de publicações, utilizando as diretrizes PRISMA 2020 (Page et al., 2021) que foi utilizado para o mapeamento sistemático da leitura científica relacionada à intersecção dos temas economia circular, circularidade urbana e gêmeos digitais. Este método teve como objetivo identificar, avaliar e interpretar as pesquisas existentes no campo (Grant; Booth, 2009). Também foram desenvolvidas cadeias de caracteres (strings) integradas por operadores Booleanos que permitam a busca sistemática e abrangente de publicações nos temas nas bases de dados bibliográficos Web of Science, Scopus, Science Direct, Compendex, IEEE Xplore, entre outras que se mostrarem relevantes. A inclusão de publicações no estudo foi avaliada a partir da leitura do título, resumo e palavras-chave.

Para as análises bibliométricas de redes de coautoria, grupos de pesquisa e relação entre temas, ainda será utilizada a ferramenta aberta VOSviewer (vosviewer.com) nos próximos meses de pesquisa. Os resultados obtidos serão organizados e analisados com o uso da ferramenta Tableau (tableau.com), que permite a organização dos dados em pequenos aplicativos que podem ser utilizados para disponibilizar os dados da pesquisa de forma pública e estruturada no site do CEUCI. O segundo passo será a revisão sistematizada da literatura selecionada. Este método caracteriza-se por ser muito semelhante à revisão sistemática, com a exceção de ser um processo mais simples, adequado a estudos em nível de graduação e que não requer o registro do protocolo, que seria inviável pelo tema e tempo de execução desta pesquisa (Booth; Sutton; Papaioannou, 2016). Nesta fase, as publicações selecionadas no mapeamento serão lidas e avaliadas quanto a qualidade, abrangência, ferramentas utilizadas, fluxos de trabalho, aplicabilidade e possibilidade de generalização dos resultados a outros contextos. Os resultados serão organizados na forma de textos, tabelas e quadros.

A última etapa a ser elaborada será o desenvolvimento do protocolo para a aplicação de gêmeos digitais à circularidade urbana a partir dos resultados das fases anteriores. Nesta fase as ferramentas computacionais e fluxos de trabalho encontrados serão avaliados quanto à sua aplicabilidade, utilizando o caso do HIDS como contexto para estas considerações.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

Por se tratar de uma pesquisa baseada em mapeamento sistemático da literatura e revisão bibliográfica, a análise dos resultados do mapeamento sistemático e da revisão sistematizada da literatura se deu por meio do cumprimento do protocolo de pesquisa inicialmente proposto.

Com relação ao protocolo para o desenvolvimento de gêmeos digitais à circularidade urbana, ainda será realizado oficinas de grupos focais para a validação dos resultados. Grupos focais são uma técnica de pesquisa qualitativa, que coleta informações através de interações e debates em grupo, em geral especialistas naquele determinado tema. Neste caso, será feita a exposição inicial do protocolo desenvolvido para o HIDS para que os especialistas - em planejamento e projeto urbano, economia circular, gêmeos digitais e modelagem da informação aplicada à cidade e à edificação – possam avaliar os potenciais e desafios da sua aplicação (Tremblay; Hevner; Berndt, 2010). Oficinas de grupos focais são parte fundamental da pesquisa desenvolvida no CEUCI, por este motivo os pesquisadores do centro têm know-how em sua condução e já possuem as aprovações necessárias junto ao Comitê de Ética em Pesquisa nas Ciências Humanas e Sociais (CEP-CHS) da UNICAMP (CAAE: 65070722.0.0000.8142 - “Centro de Estudos sobre o Urbanismo para o Conhecimento e a Inovação (CEUCI): Áreas do conhecimento em franjas urbanas”). Deste modo, o beneficiário terá o suporte dos pesquisadores sêniores do centro, incluindo da sua orientadora, na condução desta oficina de grupos focais.

## **BIBLIOGRAFIA**

BOOTH, A.; SUTTON, A.; PAPAIOANNOU, D. Systematic approaches to a successful literature review. Second Edition. [S. l.]: SAGE Publications, 2016. Disponível em: Acesso em: 28 ago. 2019.

BOZEMAN, J. F. et al. Three research priorities for just and sustainable urban systems: Now is the time to refocus. *Journal of Industrial Ecology*, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 382–394, 2023.

BUFFA, E.; PINTO, G. de A. O território da universidade brasileira: o modelo de câmpus. *Revista Brasileira de Educação*, [s. l.], v. 21, n. 67, p. 809–831, 2016.

CARAYANNIS, E. G.; BARTH, T. D.; CAMPBELL, D. F. J. The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 2, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/2192-5372-1-2>.

ÇETIN, S.; DE WOLF, C.; BOCKEN, N. Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework. *Sustainability*, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 6348, 2021.

D'AMICO, G. et al. Digitalisation driven urban metabolism circularity: A review and analysis of circular city initiatives. *Land Use Policy*, [s. l.], v. 112, p. 105819, 2022.

DOODY, L. Value of Digital Twins: Cities. In: *DIGITAL TWIN: TOWARDS A MEANINGFUL FRAMEWORK*. London: Arup, 2019.

FARIA, A. F. de et al. Parques Tecnológicos do Brasil. Viçosa, MG: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/centrais-deconteudo/publicacoes-mcti/parques-tecnologicos-do-brasil>. Acesso em: 16 jan. 2024.

GRANT, M. J.; BOOTH, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 91–108, 2009. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19490148>. Acesso em: 28 ago. 2019.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, [s. l.], v. 127, p. 221–232, 2017.

KONIETZKO, J.; BOCKEN, N.; HULTINK, E. J. A Tool to Analyze, Ideate and Develop Circular Innovation Ecosystems. *Sustainability*, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 417, 2020.

NORONHA, M.; CANUTO DA SILVA, R.; CELANI, G. Placemaking in the Design of Knowledge-Based Urban Developments. *Joelho Revista de Cultura Arquitectonica*, [s. l.], n. 14, p. 91–112, 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Nova Agenda Urbana. Quito, Equador: [s. n.], 2019.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, [s. l.], p. n71, 2021.

PREUT, A.; KOPKA, J.-P.; CLAUSEN, U. Digital Twins for the Circular Economy. *Sustainability*, [s. l.], v. 13, n. 18, p. 10467, 2021.

ROSA, P. et al. Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, [s. l.], v. 58, n. 6, p. 1662–1687, 2020.

SANCHES, P.; CELANI, G. Ocupação sustentável do território periurbano: método e modelo espacial conceitual para conciliar natureza e urbanização compacta. Campinas, SP: UNICAMP, 2023.

SUKHDEV, A. et al. Cities in the Circular Economy: The Role of Digital Technologies. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/41iwzsqtgazzdhmjn3/@/preview/1?o>. Acesso em: 26 jul. 2023.

THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Circular Economy in Cities: Project Guide. [S. l.: s. n.], 2019.

TREMBLAY, M. C.; HEVNER, A. R.; BERNDT, D. J. Focus Groups for Artifact Refinement and Evaluation in Design Research. *Communications of the Association for Information Systems*, [s. l.], v. 26, 2010.

UNITED NATIONS. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>.

YIGITCANLAR, T.; INKINEN, T. Theory and Practice of Knowledge Cities and KnowledgeBased Urban Development. In: *GEOGRAPHIES OF DISRUPTION*. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 109–133. YIGITCANLAR, T.; VELIBEYOGLU, K.; BAUM, S. Knowledge-Based Urban Development: Planning and Applications in the Information Era. [S. l.]: Information Science Reference, 2008.