

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE INDICADORES DE DESEMPENHO APLICADOS À DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Carla Cristina Araújo Parreira¹ & Priscilla Macedo Moura²

Abstract: This article presents a bibliometric analysis of the scientific production focused on performance indicators applied to urban drainage and stormwater management systems between 2000 and 2024. Based on the Scopus database, 291 articles were identified, selected through a structured search strategy that combined Boolean operators and thematic groups of keywords related to urban drainage, performance assessment, evaluation, and sustainability. The search included terms such as “urban drainage,” “performance indicators,” “performance assessment,” and their equivalents in Portuguese. The analyses were conducted using the Bibliometrix and VOSviewer tools, enabling the identification of trends, emerging topics, scientific collaboration networks, and the evolution of production over time. The results reveal a significant growth in interest in performance evaluation practices associated with sustainable solutions, urban resilience, and hydrological risk management. Furthermore, they highlight a transformation in the profile of research in stormwater management, increasingly oriented towards integrated, sustainable, and adaptive approaches to the challenges posed by climate change and accelerated urbanization.

Resumo: Este artigo apresenta uma análise bibliométrica da produção científica voltada para indicadores de desempenho aplicados à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, no período de 2000 a 2024. A partir da base de dados *Scopus*, foram identificados 291 artigos, selecionados por meio de uma estratégia de busca estruturada, que combinou operadores booleanos e grupos temáticos de palavras-chave relacionados à drenagem urbana, desempenho, avaliação e sustentabilidade. Foram incluídos termos como “urban drainage”, “performance indicators”, “performance assessment” e suas equivalentes em português. As análises foram conduzidas com o auxílio das ferramentas *Bibliometrix* e *VOSviewer*, permitindo a identificação de tendências, tópicos emergentes, redes de colaboração científica e a evolução da produção ao longo do tempo. Os resultados revelam um crescimento expressivo do interesse por práticas de avaliação de desempenho associadas a soluções sustentáveis, resiliência urbana e gestão de riscos hidrológicos. Além disso, destacam uma transformação no perfil dos estudos em drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, cada vez mais orientados para abordagens integradas, sustentáveis e adaptadas aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela urbanização acelerada.

Palavras-Chave –Drenagem Urbana; Indicadores de Desempenho; Bibliometria

1) Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - 31 270-901 - Belo Horizonte, carla-araujo07@hotmail.com

2) Professora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos e do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Escola de Engenharia da UFMG - Bloco I Av. Antônio Carlos, 6627- Campus Pampulha - 31 270-901 – Belo Horizonte (31) 3409-3684, priscilla.moura@ehr.ufmg.br

INTRODUÇÃO

A bibliometria é uma ferramenta metodológica essencial para a análise quantitativa da produção científica, permitindo mapear tendências, identificar lacunas no conhecimento e avaliar o impacto das pesquisas em diferentes campos do saber. Por meio da análise de dados extraídos de bases indexadoras, a bibliometria oferece uma visão estruturada da evolução temática, dos autores mais produtivos, das redes de colaboração entre instituições e países, além de apontar os termos mais recorrentes nos estudos (Casado-Belmonte et al., 2021). Essa abordagem tem se consolidado como uma estratégia relevante para compreender dinâmicas científicas e orientar novos estudos, especialmente em áreas em constante desenvolvimento, como a gestão urbana e os sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais (Ragazou et al., 2022).

A drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas têm enfrentado desafios cada vez mais complexos diante do avanço da urbanização, da impermeabilização do solo e dos impactos das mudanças climáticas. Esses fatores intensificam a ocorrência de alagamentos, inundações e sobrecarga dos sistemas de drenagem, exigindo soluções mais eficientes, resilientes e sustentáveis. Nesse contexto, a utilização de indicadores de desempenho torna-se fundamental para avaliar a efetividade dos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais, apoiar processos de tomada de decisão, otimizar investimentos e garantir serviços de saneamento adequados às populações urbanas. Além disso, observa-se uma crescente demanda por abordagens que integrem critérios técnicos, ambientais, sociais e econômicos na avaliação desses sistemas, especialmente alinhadas aos princípios da infraestrutura verde, sustentabilidade urbana e resiliência climática (Fletcher et al., 2014).

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica da produção científica sobre indicadores de desempenho aplicados à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, no período de 2000 a 2024. Busca-se identificar os principais temas abordados, os países com maior contribuição científica, as redes de colaboração, a evolução temporal das publicações e as tendências emergentes. Este panorama visa contribuir para o fortalecimento das pesquisas na área, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de soluções mais eficientes, inovadoras e adaptadas aos desafios contemporâneos enfrentados pelas cidades.

METODOLOGIA

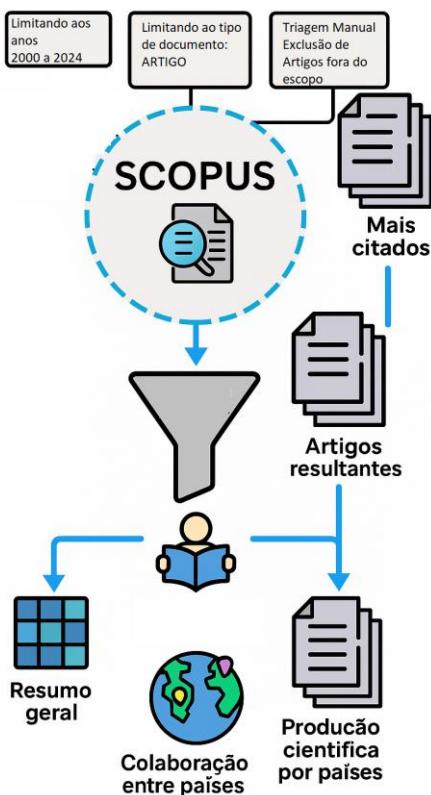
A pesquisa foi realizada por meio de uma revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica, utilizando a base de dados *Scopus* (Elsevier, 2025). Foram coletados artigos publicados no período de 2000 a 2024, relacionados a indicadores de desempenho aplicados à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

A estratégia de busca foi estruturada com palavras-chave organizadas em dois grupos temáticos principais. Para a combinação entre os grupos foi utilizado o operador booleano “E”, e dentro de cada grupo, o operador “OU”. Assim, foram considerados:

- Termos relacionados aos sistemas de drenagem urbana, como “urban drainage”, “drenagem urbana”, “manejo de águas pluviais”, “drenagem e manejo de águas pluviais urbanas” e “sistemas de drenagem”;
- Termos associados à avaliação de desempenho, como “performance assessment”, “performance indicators”, “performance metrics”, “indicators”, “indicadores de desempenho” e “indicadores”.

Foi realizada uma triagem manual pelos títulos dos artigos para a exclusão de documentos fora do escopo, como aqueles voltados exclusivamente para esgotamento sanitário, modelagem hidráulica sem foco na avaliação de desempenho, ou estudos que não contemplavam métricas aplicadas aos sistemas de drenagem urbana.

Para o processamento dos dados e construção das análises bibliométricas, foram utilizadas as ferramentas *VOSviewer* (van Eck e Waltman, 2010) e *Bibliometrix* (Aria e Cuccurullo, 2017). As análises incluíram a construção de redes de coautoria, mapas de cocorrência de palavras-chave, redes de colaboração internacional e avaliação de impacto por meio de citações. Além disso, foram elaborados mapas de tendências temáticas, evolução temporal da produção científica, distribuição de publicações por país e identificação dos artigos mais citados no tema.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise bibliométrica revelaram um total de 291 artigos científicos publicados entre 2000 e 2024, relacionados à aplicação de indicadores de desempenho em sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Esse conjunto de publicações oferece um panorama abrangente da evolução da área, refletindo tanto a consolidação de abordagens tradicionais na drenagem e manejo de águas pluviais urbanas quanto a incorporação de conceitos mais recentes, como sustentabilidade, resiliência e infraestrutura verde. A análise demonstra que as temáticas mais recorrentes no período estão diretamente associadas às crescentes demandas por cidades mais resilientes e adaptadas às mudanças climáticas, bem como à necessidade de gestão eficiente dos sistemas urbanos de drenagem e manejo de águas pluviais.

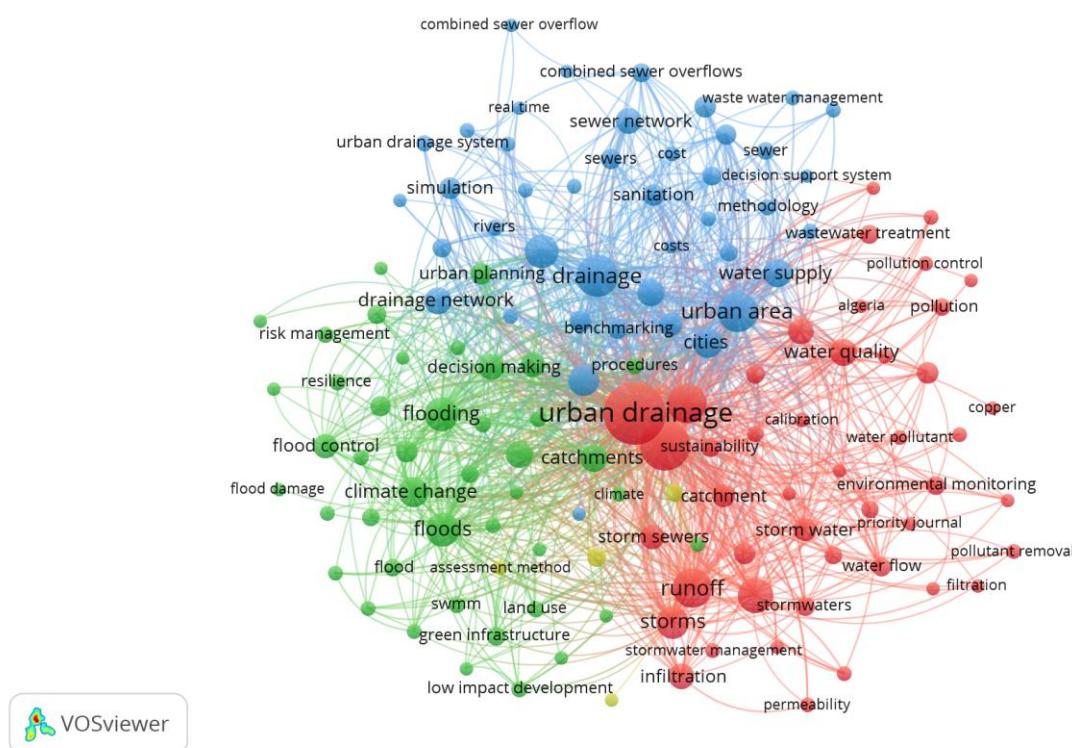
A Figura 1 apresenta o mapa de cocorrência de palavras-chave extraídas das publicações analisadas, evidenciando os principais eixos temáticos que estruturam a produção científica sobre avaliação de desempenho em sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Observa-se

a centralidade dos termos “*urban drainage*” e “*performance assessment*”, que atuam como nós centrais de conexão entre diferentes agrupamentos, indicando sua presença transversal nas discussões do campo.

O agrupamento vermelho está fortemente associado à gestão de riscos e resiliência urbana, reunindo termos como “*resilience*”, “*risk assessment*”, “*climate change*” e “*urban flooding*”, sinalizando a preocupação crescente com os impactos das mudanças climáticas sobre os sistemas urbanos. O agrupamento verde agrupa palavras relacionadas à infraestrutura sustentável, como “*green infrastructure*”, “*nature-based solutions*” e “*sustainable urban drainage systems (SUDS)*”, refletindo o avanço de soluções baseadas na natureza como parte das estratégias de desempenho, contemplando aspectos de quantidade e qualidade da água. Já o agrupamento azul concentra termos voltados à modelagem e simulação dos sistemas, incluindo “*hydrological modeling*”, “*simulation*”, “*SWMM*” e “*hydraulic performance*”, evidenciando a importância das ferramentas computacionais na avaliação do desempenho hidráulico e hidrológico dos sistemas de drenagem.

Esses achados reforçam uma tendência clara de integração entre avaliação de desempenho, sustentabilidade e resiliência urbana, destacando a necessidade de abordagens multidisciplinares na gestão das águas pluviais nas cidades contemporâneas.

Figura 1 – Mapa de coocorrência de palavras-chave



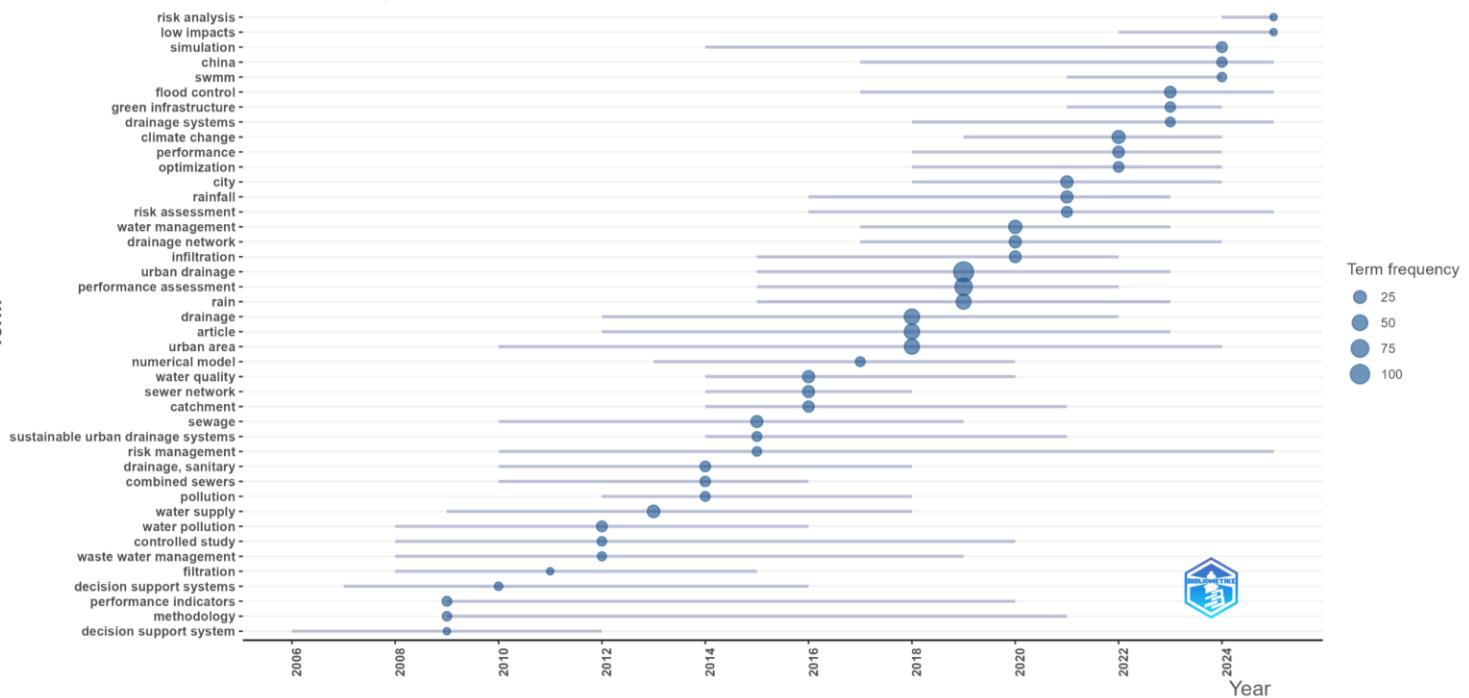
A Figura 2 apresenta os tópicos em tendência relacionados à aplicação de indicadores de desempenho na drenagem urbana, evidenciando tanto a evolução temporal quanto a frequência dos termos recorrentes nas publicações. Observa-se que termos como “*urban drainage*”, “*performance assessment*”, “*hydraulic performance*” e “*stormwater management*” permanecem como elementos centrais ao longo de todo o período analisado, o que reforça a forte presença dos indicadores hidráulicos e hidrológicos, especialmente relacionados ao controle de picos de vazão, volumes de extravasamento, tempo de resposta do sistema e eficiência hidráulica geral.

A partir de 2015, torna-se evidente a incorporação crescente de indicadores relacionados à sustentabilidade e à resiliência, com maior frequência dos termos “green infrastructure”, “sustainable urban drainage systems (SUDS)”, “resilience” e “climate change”. Isso reflete uma ampliação dos critérios de avaliação, que passam a incluir indicadores como capacidade de retenção de águas pluviais, contribuição para serviços ecossistêmicos, robustez frente a eventos extremos, e redução de impactos ambientais, especialmente em contextos de mudanças climáticas e urbanização acelerada.

A partir de 2020, destacam-se nas publicações termos associados a abordagens ainda mais integradas e adaptativas, como “nature-based solutions”, “blue-green infrastructure” e “adaptive management”, indicando a consolidação de modelos de avaliação de desempenho que não se limitam apenas aos aspectos hidráulico e hidrológicos, mas que passam a considerar também indicadores operacionais, ambientais e socioeconômicos, tais como eficiência econômica, capacidade adaptativa, redução de emissões de carbono e multifuncionalidade dos espaços urbanos.

Esses resultados apontam para uma transformação no paradigma de avaliação de desempenho dos sistemas de drenagem urbana, que evolui de uma lógica centrada na eficiência hidráulica para uma abordagem mais holística, que integra também desempenho hidrológico, ambiental, operacional e de sustentabilidade. As tendências observadas confirmam uma transição dos sistemas baseados exclusivamente em infraestrutura cinza para soluções híbridas, que combinam infraestrutura verde, soluções baseadas na natureza e modelos de gestão adaptativa, alinhados às demandas contemporâneas por cidades mais resilientes, eficientes e sustentáveis.

Figura 2 – Tópicos em tendência



A análise da produção científica anual identificou um total de 291 artigos relacionados à avaliação de desempenho em drenagem urbana, revelando um crescimento progressivo e consistente do interesse pelo tema. Nos primeiros anos do recorte, entre 2000 e 2009, predominam estudos com foco em indicadores hidráulicos clássicos, refletindo uma fase inicial, voltada à eficiência dos sistemas em termos de controle de escoamento e mitigação de inundações e alagamentos.

A Tabela 1 sintetiza as principais categorias de indicadores de desempenho identificadas na literatura analisada, bem como exemplos desses indicadores e alguns dos estudos mais relevantes que os abordam. Esses dados evidenciam que o uso de indicadores de desempenho se consolidou como um campo essencial para apoiar a tomada de decisão, o desenvolvimento de políticas públicas e o aprimoramento de projetos de drenagem urbana e manejo de águas pluviais sustentáveis, especialmente frente aos desafios contemporâneos impostos pela urbanização acelerada e pelas mudanças climáticas.

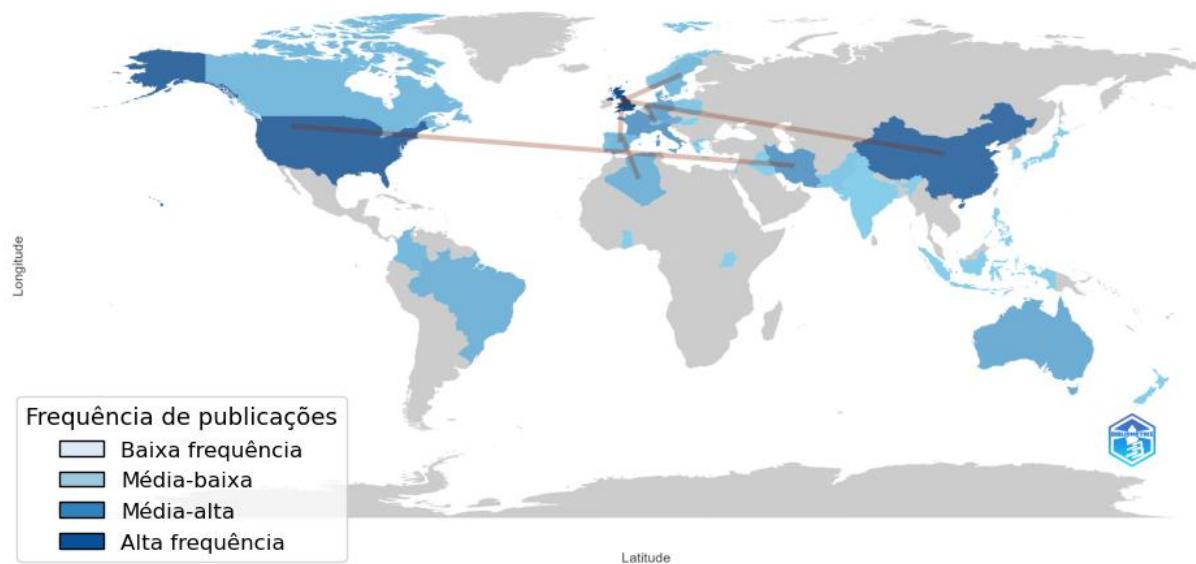
Tabela 1 – Categorias e Exemplos de Indicadores de Desempenho Aplicados à Drenagem Urbana

Categoria de Indicador	Exemplos de Indicadores	Estudos Referenciados
Hidráulicos e Hidrológicos	Volume de extravasamento, pico de vazão, tempo de resposta, área inundada	Freni et al. (2010), Fu et al. (2017)
Operacionais	Robustez do sistema, número de nós críticos, tempo de recuperação após falhas	Mugume et al. (2015), Mugume e Butler (2016)
Ambientais	Remoção de sólidos suspensos, nutrientes, cargas poluentes, melhoria na qualidade da água	Zahmatkesh et al. (2015), Kuller et al. (2018)
Sustentabilidade e Resiliência	Eficiência econômica, capacidade adaptativa, multifuncionalidade, serviços ecossistêmicos, redução de CO ₂	Fu et al. (2017), Wang et al. (2021)

A Figura 3 evidencia a distribuição geográfica da produção científica, destacando o Reino Unido como principal polo de pesquisa na área de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, especialmente em temas como resiliência, sustentabilidade e avaliação de desempenho de sistemas urbanos. Países europeus como Alemanha, Holanda, Espanha e França também apresentam uma participação expressiva, refletindo o histórico de atuação desses países na gestão urbana sustentável e no desenvolvimento de soluções inovadoras para infraestrutura urbana. Na Ásia, países como China, Índia e Coreia do Sul se destacam, revelando o avanço de suas agendas científicas voltadas para o enfrentamento dos desafios urbanos, principalmente aqueles relacionados a enchentes e crescimento desordenado. Na América Latina, o Brasil lidera em número de publicações, seguido por México, Chile e Colômbia, o que demonstra o amadurecimento das discussões na região sobre drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, especialmente considerando as vulnerabilidades climáticas e socioeconômicas dos contextos latino-americanos.

Essa distribuição reforça a internacionalização das discussões sobre drenagem e manejo de águas pluviais urbanas e indicadores de desempenho, com enfoques distintos que refletem os contextos ambientais, urbanos e tecnológicos de cada região. Enquanto na Europa e América do Norte predominam abordagens relacionadas à sustentabilidade, infraestrutura verde e resiliência climática, em países da Ásia e América Latina observa-se um foco crescente na adaptação dos sistemas frente ao crescimento urbano acelerado e aos eventos extremos.

Figura 3 – Distribuição geográfica da produção científica



Complementarmente, a análise dos artigos mais citados revela uma tendência consistente de valorização de abordagens integradas, sustentáveis e baseadas na resiliência urbana, alinhadas aos princípios da infraestrutura verde, soluções baseadas na natureza e gestão adaptativa. Destacam-se os trabalhos de Mugume et al. (2015) e Fu et al. (2017), que consolidaram metodologias robustas para avaliação da resiliência e do desempenho de sistemas de drenagem urbana, incorporando conceitos de falha, robustez e adaptação. Além disso, estudos como os de Freni et al. (2010) e Wang et al. (2021) reforçam a importância de modelos que integram variáveis hidrológicas, ambientais e operacionais para a definição de indicadores de desempenho eficazes.

Os achados também evidenciam a crescente inserção de tecnologias digitais no monitoramento e gestão dos sistemas de drenagem, incluindo o uso de modelagem hidráulica avançada, simulações acopladas (1D/2D), sensores remotos e sistemas de apoio à decisão. Este movimento acompanha a evolução da engenharia urbana, que tem buscado soluções mais inteligentes, resilientes e alinhadas aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, urbanização acelerada e eventos extremos.

Dessa forma, os resultados apontam para uma transformação significativa na abordagem dos sistemas de drenagem, cada vez mais voltados para modelos de infraestrutura híbrida, que combinam soluções cinzas tradicionais com infraestruturas verdes e soluções baseadas na natureza. Além disso, consolidam-se metodologias orientadas por dados, análises de desempenho e gestão adaptativa, fortalecendo o papel da engenharia urbana na construção de cidades mais resilientes, sustentáveis e inteligentes.

CONCLUSÃO

A análise bibliométrica realizada permitiu mapear as principais tendências, avanços e áreas emergentes na produção científica sobre indicadores de desempenho aplicados à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, no período de 2000 a 2024. Observou-se que, historicamente, os estudos priorizaram indicadores hidráulicos e hidrológicos, como pico de vazão, volume de extravasamento e tempo de resposta dos sistemas, refletindo uma abordagem predominantemente técnica-operacional.

A partir de 2015, verifica-se uma expansão desse escopo, com a incorporação de indicadores associados à sustentabilidade, resiliência urbana, infraestrutura verde e soluções baseadas na natureza. Esse movimento é evidenciado no aumento da frequência de termos como “*green infrastructure*”, “*nature-based solutions*”, “*resilience*”, e “*climate change adaptation*”, refletindo uma transformação no paradigma de avaliação de desempenho, que passa a integrar também aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Apesar dos avanços, a análise revela importantes lacunas na literatura. Observa-se uma concentração significativa de estudos focados em contextos de países desenvolvidos, especialmente Europa, América do Norte e Oceania, enquanto ainda são escassas as investigações aplicadas a contextos urbanos da América Latina, África e parte da Ásia, regiões onde os desafios relacionados à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas são igualmente ou até mais críticos. Além disso, nota-se uma limitação na padronização dos indicadores, o que dificulta a comparação de resultados entre diferentes estudos, cidades ou sistemas.

Outra lacuna relevante diz respeito à integração dos indicadores de desempenho com sistemas de monitoramento em tempo real, tecnologias digitais e plataformas de gestão adaptativa, aspectos que aparecem de forma ainda incipiente na literatura, apesar de sua importância crescente no contexto das cidades inteligentes. Também são pouco exploradas as avaliações de longo prazo sobre o desempenho combinado de infraestruturas verdes e cinzas, especialmente considerando cenários futuros de mudanças climáticas.

Diante desse cenário, conclui-se que a pesquisa sobre drenagem urbana está passando por uma renovação conceitual e metodológica, na qual os indicadores de desempenho assumem papel estratégico na construção de cidades mais resilientes, sustentáveis e inteligentes.

A bibliometria se mostra uma ferramenta poderosa para compreender essa evolução e, sobretudo, para identificar oportunidades de avanço científico e técnico na área. Recomenda-se, para pesquisas futuras, que sejam aprofundadas:

- Análises qualitativas sobre a eficácia dos indicadores em diferentes realidades urbanas;
- Estudos aplicados a contextos urbanos de países em desenvolvimento;
- Integração de tecnologias digitais e inteligência artificial na gestão de desempenho dos sistemas, e;
- Desenvolvimento de estruturas metodológicas que combinem avaliação hidrológica, hidráulica socioambiental e econômica de forma padronizada e replicável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. (2017). “Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis”. *Journal of Informetrics*, 11(4), pp. 959–975.
- CASADO-BELMONTE, M. et al. (2021). “Green infrastructure research in the urban context: A bibliometric analysis”. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102887.
- FLETCHER, T.D. et al. (2014). “SUDS, LID, BMPs and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage”. *Urban Water Journal*, 10(3), pp. 1–18.
- FRENI, G. et al. (2010). “Comparison between different storm water control measures for reducing flood risk in urban areas”. *Water Science and Technology*, 62(2), pp. 273–280.

- FU, G.; BUTLER, D.; KHU, S.T. (2017). "Enhancing resilience of urban drainage systems to climate change: A case study of Singapore". *Water Research*, 124, pp. 42–54.
- KULLER, M. et al. (2018). "Urban drainage planning in developed countries: challenges and research needs". *Urban Water Journal*, 15(9), pp. 923–931.
- MUGUME, S.N. et al. (2015). "A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems". *Water Research*, 81, pp. 15–26.
- MUGUME, S.N.; BUTLER, D. (2016). "Evaluation of functional resilience in urban drainage and flood management systems using a global analysis approach". *Urban Water Journal*, 13(3), pp. 300–311.
- RAGAZOU, K. et al. (2022). "Mapping the evolution of engineering education research: A bibliometric analysis". *International Journal of Engineering Education*, 38(1), pp. 1–20.
- VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. (2010). "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping". *Scientometrics*, 84(2), pp. 523–538.
- WANG, J. et al. (2021). "An event-based resilience index to assess urban drainage systems under climate change and land use dynamics". *Water Research*, 201, 117310.
- ZAHMATKESH, Z. et al. (2015). "Assessing the effectiveness of low impact development (LID) practices on flood reduction and water quality improvement at the watershed scale". *Journal of Environmental Management*, 147, pp. 38–50.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Capes, ao CNPq e à Fapemig pelo financiamento das pesquisas realizadas.