ISSN 2359-1919 (Online)
ARTIGO CIENTÍFICO

Novos caminhos para o manejo sustentável das águas pluviais urbanas

New pathways for the sustainable management of urban stormwater

Juliana Caroline de Alencar[1,2], José Rodolfo Scarati Martins[1], Paulo Renato Mesquita Pellegrino[3], Mariana Marchioni[4]

[1]Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, Brasil. E-mails: julianaalencar@usp.br, scarati@usp.br
[2]Instituto de Pesquisas Ecológicas para Conservação da Água e do Solo, São Paulo, SP, Brasil.
[3]Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design – FAU, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: prmpelle@usp.br
[4]Politecnico di Milano, Milão, Itália. E-mail: mariana.marchioni@polimi.it

Como citar: Alencar, J. C., Martins, J. R. S., Pellegrino, P. R. M., & Marchioni, M. (2025). Novos caminhos para o manejo sustentável das águas pluviais urbanas. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, *22*, e8. https://doi.org/10.21168/rega.v22e8

RESUMO: A urbanização acelerada e as mudanças climáticas intensificam os desafios para o manejo sustentável das águas urbanas, especialmente nos países de economia emergente e de baixa renda, onde a urbanização recente não planejada e a infraestrutura insuficiente ou inadequada aumentam o risco das populações aos eventos extremos. O manejo sustentável das águas urbanas evoluiu historicamente recebendo diferentes terminologias – BMP, LID, SUDS, WSUD, Infraestrutura Verde e Cidades Esponja - refletindo diferentes prioridades e contextos culturais, e recentemente sendo contemplado por um novo termo, Soluções Baseadas na Natureza (SBN). O manejo das águas pluviais urbanas abrange sete componentes essenciais: drenagem, detenção, retenção, infiltração, evaporação, tratamento e aproveitamento, a adoção do maior número possível destes componentes no sistema de águas pluviais é o que garante o manejo sustentável das águas pluviais urbanas, garantindo resiliência e adaptação para as cidades frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas. Além disso, a adoção de sistemas que integrem a infraestrutura cinza, à componentes tecnológicos e aos elementos naturais é um passo importante rumo a este propósito de sustentabilidade do sistema, além de garantir os tão necessários serviços ecossistêmicos. O presente estudo apresenta uma revisão conceitual do manejo sustentável das águas pluviais urbanas, apontando as componentes, necessidades e passos para atingi-lo, destacando a importância de que as iniciativas sejam sempre concebidas de forma multidisciplinar e com forte envolvimento da comunidade, além da importância de que haja o fortalecimento dos marcos regulatórios e financeiros para incentivo da adoção das medidas necessárias.

Palavras-chave: Manejo de Águas Urbanas; Águas Urbanas; Drenagem Urbana; Drenagem Sustentável, Soluções Baseadas na Natureza.

ABSTRACT: Accelerated urbanization and climate change intensify the challenges of sustainable urban water management, particularly in emerging and low-income economies. In these regions, recent unplanned urbanization and insufficient or inadequate infrastructure increase population vulnerability to extreme events. The concept of sustainable urban water management has historically evolved under various terminologies—BMP, LID, SUDS, WSUD, Green Infrastructure, and Sponge Cities—reflecting different priorities and cultural contexts. Recently, it has been framed under the new term Nature-Based Solutions (NBS). Urban water management encompasses seven essential components: drainage, detention, retention, infiltration, evaporation, treatment, and reuse. Incorporating as many of these components as possible into stormwater systems ensures sustainable urban water management, fostering resilience and adaptation in cities facing climate change challenges. Additionally, integrating gray infrastructure with technological components and natural elements is a crucial step toward achieving sustainability in these systems, while also providing essential ecosystem services. This study presents a conceptual review of sustainable urban water management, outlining its components, requirements, and steps for implementation. It emphasizes the importance of multidisciplinary approaches and strong community involvement in these initiatives. Furthermore, it highlights the need to strengthen regulatory and financial frameworks to encourage the adoption of the necessary measures for achieving sustainable urban water management.

Keywords: Urban Water Management; Urban Waters; Urban Drainage; Sustainable Drainage; Nature-Based Solutions.

Recebido: Janeiro 07, 2025. Revisado: Março 21, 2025. Aceito: Abril 14, 2025.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution* (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada é um dos fenômenos mais marcantes do século XXI, trazendo à tona desafios significativos para o manejo sustentável das águas urbanas. À medida que as cidades crescem, a impermeabilização do solo e a falta de planejamento adequado aumentam a frequência de inundações e comprometem a qualidade da água (Mello et al., 2020). Esse cenário é agravado pelas mudanças climáticas, que tornam os eventos climáticos extremos mais comuns e intensos (Nesshöver et al., 2017). No Brasil, a situação é ainda mais crítica devido à combinação de urbanização descontrolada e infraestrutura insuficiente ou inadequada.

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN), através da Infraestrutura Verde, surgem como uma abordagem promissora para lidar com esses desafios. Elas buscam reproduzir os processos naturais melhorando assim a resiliência das cidades, mitigando os efeitos das mudanças climáticas e promovendo a biodiversidade. Além disso, as SBN proporcionam benefícios socioeconômicos, como a melhoria da qualidade de vida e a criação de espaços recreativos para as comunidades (Marselle et al., 2021; Sowińska-Świerkosz & García, 2022; Monteiro et al., 2022; Corgo et al., 2024). No entanto, para que essas soluções sejam eficazes, é necessário um planejamento cuidadoso, multidisciplinar e a integração de diferentes setores da sociedade.

O presente estudo explora a evolução dos sistemas de águas urbanas no Brasil e no mundo, trazendo uma conceituação das práticas de manejo sustentável das águas urbanas que visam transformar as cidades em ambientes mais adaptados e resilientes aos eventos extremos.

METODOLOGIA

Para contribuir para um melhor entendimento da evolução histórica do manejo das águas pluviais urbanas e para a conceituação das práticas de manejo sustentável, foi realizada a revisão da literatura sobre manejo e drenagem de águas pluviais através da busca por publicações com maior índice de citação na Plataforma *Web of Science,* utilizando para tanto os termos "drenagem urbana, manejo de águas urbanas, águas urbanas, enchentes, inundações, microdrenagem, macrodrenagem, drenagem sustentável, infraestrutura verde, infraestrutura verde e azul, Soluções Baseadas na Natureza, desenvolvimento de baixo impacto, cidades esponja e desenho urbano sensível à água" em português e em inglês. Além disso, para um melhor entendimento da força do uso dos termos ligados ao manejo sustentável das águas pluviais urbanas foi realizada uma busca quantitativa no banco de dados da plataforma *Web of Science* por publicações nos últimos 40 anos utilizando os termos. Os itens seguintes apresentam os resultados obtidos.

AS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS NA HISTÓRIA

A evolução histórica dos sistemas de drenagem pluvial reflete o desenvolvimento urbano e tecnológico das sociedades ao longo dos séculos. Desde as primeiras civilizações até os dias atuais, a gestão das águas pluviais tem sido crucial para prevenir inundações, proteger infraestruturas e garantir a saúde pública. Nas civilizações antigas, como Mesopotâmia, Egito e Roma, já existiam sistemas rudimentares de drenagem para lidar com as águas das chuvas. Os romanos, por exemplo, construíram redes de escoamento que desviavam a água das chuvas das vias urbanas, evitando alagamentos e danos estruturais (Tucci, 2003; Marsalek & Chocat, 2002). Com o crescimento das cidades durante a Revolução Industrial, os países desenvolvidos enfrentaram desafios significativos relacionados ao escoamento superficial. A impermeabilização do solo aumentou o volume e a velocidade do escoamento, resultando em inundações frequentes. Em resposta, foram construídos sistemas de drenagem subterrânea, baseados em coletores e galerias, para canalizar rapidamente a água pluvial para rios e oceanos (Tucci, 2003; Butler & Davies, 2011; Xu et al., 2023).

No século XX, a conscientização sobre os impactos ambientais dos sistemas tradicionais de drenagem levou os países de economia avançada (Banco Mundial, 2021) a adotarem abordagens mais sustentáveis. Conceitos como Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e Infraestrutura Verde começaram a ser implementados. Essas práticas buscam mimetizar o ciclo hidrológico natural, promovendo a infiltração, retenção e tratamento das águas pluviais próximo à fonte de geração do escoamento superficial (Butler & Parkinson, 1997; Wong & Eadie, 2000; Fletcher et al., 2015; Zhang, 2022). A integração de tecnologias avançadas, políticas ambientais rigorosas e investimentos contínuos permitiu que esses países reduzissem os impactos negativos da urbanização sobre os recursos hídricos, melhorando a qualidade da água e reduzindo os riscos de inundações urbanas.

Nos países de economia emergente (Banco Mundial, 2021), o rápido crescimento urbano e a falta de planejamento adequado resultaram em sistemas de drenagem pluvial insuficientes ou inexistentes. A impermeabilização acelerada do solo, aliada à ausência de infraestruturas eficazes, aumentou a frequência e a severidade das inundações urbanas (Tucci, 2012; Fletcher et al., 2013; Xu et al., 2023). Limitações financeiras, institucionais e técnicas dificultam a implementação de sistemas modernos de drenagem. Além disso, a prioridade muitas vezes é dada a outras necessidades básicas, como abastecimento de água potável e saneamento. Como resultado, soluções informais e paliativas são comumente adotadas, sem abordar as causas estruturais dos problemas.

Nos países de baixa renda (Banco Mundial, 2021), a situação é ainda mais crítica. A falta de recursos e a instabilidade política impedem investimentos em infraestrutura de drenagem pluvial. Comunidades urbanas são frequentemente expostas a inundações recorrentes, resultando em perdas humanas, danos materiais e propagação de doenças. A ausência de sistemas de drenagem adequados também contribui para a degradação ambiental, com erosão do solo e poluição de corpos d'água devido ao escoamento não tratado (Tucci, 2003; Xu et al., 2023). A vulnerabilidade dessas populações é exacerbada pelas mudanças climáticas, que intensificam eventos de precipitação extrema.

A evolução dos sistemas de drenagem pluvial reflete as disparidades socioeconômicas entre os países . Enquanto os países mais ricos avançam em direção a sistemas sustentáveis e integrados, os mais carentes enfrentam desafios significativos para fornecer soluções básicas. Abordagens integradas e colaborativas, apoiadas por transferências de tecnologia e financiamento internacional, são essenciais para melhorar a gestão das águas pluviais globalmente (Tucci, 2003; Marsalek & Chocat, 2002; Fletcher et al., 2013).

O manejo das águas urbanas no Brasil é marcado por uma série de desafios estruturais e ambientais. As grandes cidades, como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Salvador, enfrentam inundações recorrentes, exacerbadas cada vez mais pela crescente impermeabilização do solo e pelo aumento da ocorrência das chuvas extremas, além disso, a ocupação irregular de áreas ambientalmente vulneráveis como as próximas aos cursos d'água e as encostas expões a população a risco diversos (Frischenbruder & Pellegrino, 2006; Tucci, 2016; Garrido-Baserba et al., 2024). A falta de integração entre o planejamento urbano e a gestão de recursos hídricos contribui para a degradação dos corpos d'água, que são frequentemente utilizados como canais de drenagem sem o devido cuidado com a preservação ambiental. Muitas áreas carecem de tratamento adequado de esgoto, o que resulta no lançamento direto em rios e córregos, comprometendo a qualidade da água (Silva et al., 2024d; Mello et al., 2020).

Esse cenário em países de economia emergente, como o Brasil, muitas vezes é agravado pela falta de conscientização ambiental e pela ausência de políticas públicas que priorizem soluções sustentáveis. Muitas vezes, as ações de drenagem urbana são tratadas de forma isolada, sem considerar os impactos ambientais e a necessidade de soluções integradas (Krauze & Wagner, 2019), o que é um grande desafio, uma vez que o manejo eficaz das águas urbanas exige uma abordagem integrada, que considere as infraestruturas cinzas integradas às verdes. A falta de cooperação entre diferentes níveis de governo e a ausência de incentivos para práticas sustentáveis dificultam a implementação de estratégias sustentáveis. Além disso, a escassez de recursos financeiros limita os investimentos (Baptista & Nascimento, 2002; Tucci, 2016; Xu et al., 2023).

As mudanças climáticas adicionam uma camada extra de complexidade aos desafios para o manejo das águas urbanas. Observa-se o aumento da intensidade, frequência e imprevisibilidade dos eventos extremos, como chuvas intensas e secas prolongadas. As cidades estão particularmente vulneráveis a esses fenômenos devido à alta densidade populacional e à falta de infraestrutura adaptada a este novo cenário (Sowińska-Świerkosz & García, 2022). Nesse contexto, é fundamental o desenvolvimento de mecanismos que tornem as cidades resilientes e adaptadas às realidades climáticas atuais e futuras.

O QUE É O MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Por muito tempo as intervenções humanas, para o manejo das águas pluviais urbanas, foram pautadas na simples e exclusiva drenagem das águas de montante para jusante (Tucci, 2003; Marsalek & Chocat, 2002; Fletcher et al., 2013), o resultado disso foi que a maioria dos estudos, projetos, departamentos e órgãos que trabalham com águas urbanas tiveram (e continuam tendo principalmente nos países em que ainda não se é adotada uma abordagem sustentável no manejo das águas urbanas) em seu nome o termo "Drenagem" em destaque. No entanto, dentro de uma ótica semântica, a partir do momento em que se adiciona ao sistema dispositivos que executam outras

funcionalidades, o termo "Drenagem" por si só não reflete de fato a finalidade dos sistemas. Neste sentido, o termo "Manejo" reflete melhor o sistema de águas pluviais urbanas, ou seja, uma série de dispositivos e técnicas destinadas a administrar, controlar, conduzir e dispor as águas pluviais na paisagem. O manejo das águas pluviais urbanas, portanto, contempla a drenagem, a detenção, a retenção, a infiltração, a evaporação, o tratamento e o aproveitamento das águas urbanas. A Figura 1 a seguir sistematiza os componentes do Manejo das águas urbanas.

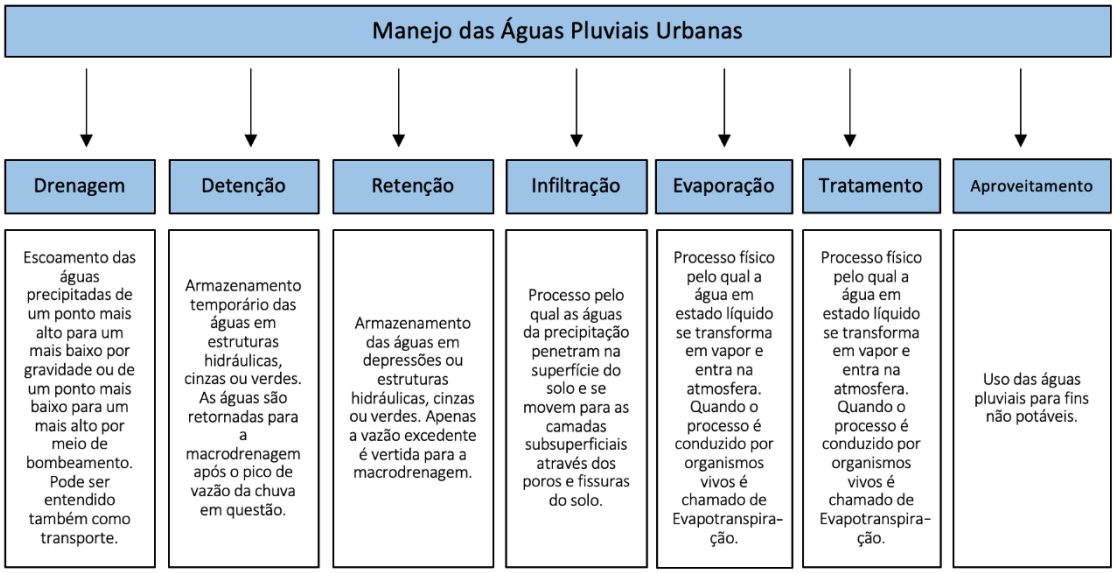

Figura 1 – Componentes do Manejo das águas pluviais urbanas. Fonte: Dos autores.

São exemplos de aplicação dos componentes em sistemas de manejo de águas pluviais urbanas:

- Drenagem: tubulações, canaletas, canais, guias e sarjetas;
- Detenção: reservatórios de grande ou pequeno porte que retornam as águas captadas de volta aos cursos d`água após o evento chuvoso (exemplo: reservatórios do tipo piscinão);
- Retenção: reservatórios de grande ou pequeno porte que armazenem as águas sem retorno aos cursos d`água após o evento chuvoso (exemplo: lagos e outras infraestruturas verdes);
- Infiltração: estruturas que promovam a infiltração das águas como pavimentos drenantes/permeáveis, trincheiras, biovaletas, jardins de chuva, canteiros vegetados, bacias de infiltração e outras infraestruturas verdes;
- Evaporação: estruturas que promovam a evaporação das águas como biovaletas, jardins de chuva, canteiros vegetados, bacias de evapotranspiração, *wetlands* construídos e outras infraestruturas verdes;
- Tratamento: estruturas que promovam o tratamento das águas como estações de tratamento cinzas, biovaletas, jardins de chuva, canteiros vegetados, bacias de sedimentação, *wetlands* construídos e outras infraestruturas verdes;
- Aproveitamento: uso das águas pluviais, para usos não potáveis através de sistema hidráulico e de reservação específicos e identificados.

Um sistema de águas pluviais que privilegie todos os componentes no manejo das águas pluviais urbanas está mais próximo de atingir uma condição de sustentabilidade e resiliência, por se aproximar do ciclo natural da água na natureza (processos do ciclo hidrológico natural). A Figura 2 mostra um infográfico ilustrando o ganho de sustentabilidade e resiliência à medida que se agrega no sistema dispositivos e técnicas que trabalham os 7 componentes do manejo das águas urbanas (drenagem, detenção, retenção, infiltração, evaporação, tratamento e aproveitamento). Os sistemas sustentáveis são conhecidos por serem multifuncionais, apresentarem integração entre dispositivos e técnicas e possuírem redundâncias no seu funcionamento, funcionando na lógica de uma rede interconectada o que resulta em maior resiliência quando comparado com sistemas unifuncionais que utilizam a lógica linear ou dendrítica.

Além disso, à medida que se adiciona elementos naturais no sistema há o enriquecimento do fornecimento de serviços ecossistêmicos, que trazem enormes benefícios à população. Entre esses benefícios estão a redução de alagamentos, melhoria da qualidade da água, regulação do microclima, aumento da biodiversidade, melhoria da qualidade do ar, valorização paisagística e imobiliária, promoção do bem-estar e saúde mental, incentivo a atividades físicas e sociais, economia de recursos e promoção da educação ambiental.

O manejo sustentável das águas pluviais urbanas se refere ao uso de dispositivos e técnicas que atuem no maior número possível de componentes do manejo e de forma equilibrada, agregando ainda elementos naturais que potencializem os serviços ecossistêmicos fornecidos, desta forma garantindo maior resiliência e adaptação das cidades aos eventos extremos. As diferentes possibilidades de combinação no uso dos componentes se darão em função das características da área em questão, para tanto devem ser realizados estudos de alternativas com análises multicritérios para definição do sistema mais apropriado para cada caso.

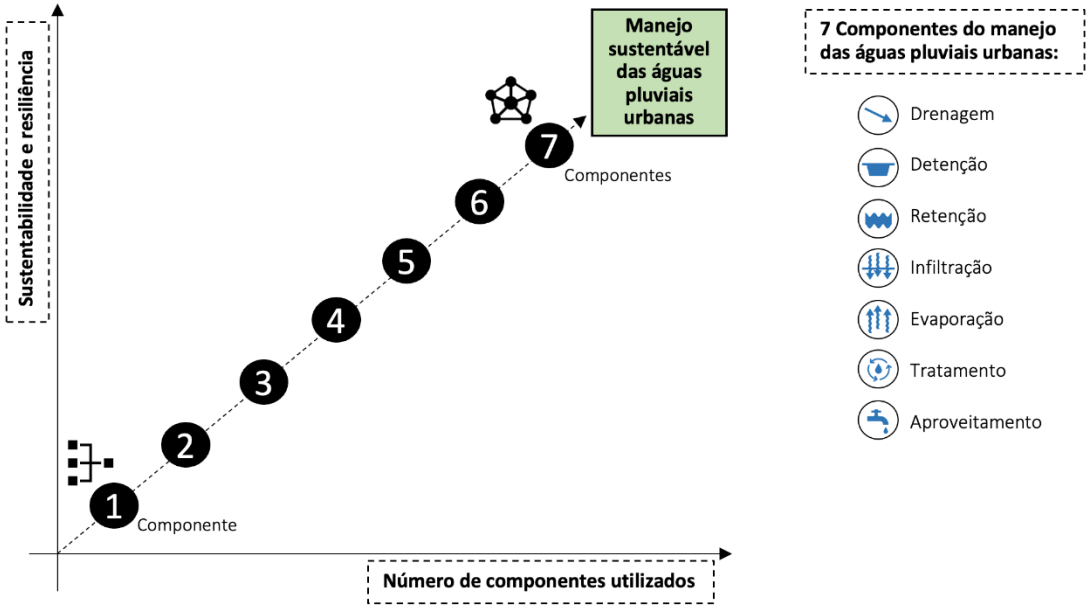

Figura 2 – Aumento da sustentabilidade e resiliência com o aumento do número de componentes do manejo de águas urbanas. Fonte: Dos autores.

CONCEITOS LIGADOS AO MANEJO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

As iniciativas para o manejo sustentável surgiram em diversas localidades do globo nas últimas décadas, recebendo terminologias distintas, como *BMP (Best Management Practices), LID (Low Impact Development), SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems), WSUD (Water Sensitive Urban Design*), Infraestrutura Verde (e azul, componente agregada em um segundo momento em algumas localidades) (*Green Infrastructure / Green and blue Infrastructure*) e Cidades Esponja (*Sponge Cities*). A diversidade desses termos reflete variações nas prioridades e contextos culturais de diferentes regiões, demonstrando uma transição de abordagens tradicionais, majoritariamente cinzas, para práticas mais holísticas e sustentáveis, que agregam elementos naturais ao sistema e reconhecem a água como um recurso a ser gerenciado de forma integrada.

Inicialmente, as *BMP* surgiram nos Estados Unidos após a Lei da Água Limpa de 1972, focando na redução da poluição hídrica por meio de práticas estruturais e não estruturais. Na década de 1990, o LID emergiu em Maryland como uma abordagem para minimizar os impactos ambientais do desenvolvimento urbano, promovendo a manutenção da hidrologia natural com técnicas como jardins de chuva, telhados verdes e pavimentos permeáveis. No Reino Unido, também nos anos 1990, os *SUDS* foram desenvolvidos para imitar o escoamento natural da água e mitigar problemas urbanos como enchentes, incorporando soluções como valas de infiltração e lagoas de retenção. O *WSUD*, originado na Austrália, integra a gestão da água ao planejamento urbano, visando a sustentabilidade ambiental

e a criação de ambientes urbanos mais habitáveis por meio da conservação da água e da reutilização de águas residuais (Fletcher et al., 2015).

O termo Infraestrutura verde é utilizado pela primeira vez na década de 90 nos Estados Unidos e nas décadas seguintes ganha força na Europa. Ele se baseia no uso dos elementos vegetais formando uma teia multifuncional dentro das cidades a fim de auxiliar no controle da qualidade do ar, água e solo. Uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais, juntamente com outros elementos ambientais, projetada e gerida para fornecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos (Benedict & McMahon, 2012; Cormier & Pellegrino, 2008; Comissão Europeia, 2016).

O termo Cidade esponja (*Sponge city*) surgiu na China no início da década de 2010 como uma resposta inovadora aos desafios crescentes de gestão das águas pluviais em áreas urbanas. O conceito de "cidade esponja" baseia-se na ideia de que as cidades devem funcionar como esponjas, absorvendo, armazenando, filtrando e liberando as águas de forma controlada na paisagem, através do uso de elementos naturais. Desde então, diversos países, inspirados nos casos chineses, tem adotado o conceito em seu planejamento urbano. Essa abordagem reconhece a importância de trabalhar com os processos naturais para aumentar a resiliência das cidades às mudanças climáticas e aos eventos extremos (Li et al., 2017).

Mais recentemente ganhou força o termo Soluções Baseadas na Natureza – SBN *(Nature-based Solutions – NBS*), que segundo a Comissão Europeia (2016) e a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) (International Union for Conservation of Nature, 2013), são ações inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza" e que são projetadas para enfrentar uma série de desafios ambientais de maneira eficiente e adaptável, ao mesmo tempo em que proporcionam benefícios econômicos, sociais e ambientais.

A literatura traz as SBN como um termo guarda-chuva, havendo uma tendência de agrupar diversos termos dentro de SBN. Nesshöver et al. (2017) destacam que há uma tendência de rotular práticas já existentes como SBN sem real inovação e isso tem resultado em confusão sobre o que realmente constitui uma Solução Baseada na Natureza.

Desta forma, cabe salientar que se deve ter cuidado nesse agrupamento, pois no que se refere às abordagens de manejo sustentável, muitas vezes temos soluções que podem estar classificadas dentro dos termos *BMP, LID, SUDS, WSUD*, Infraestrutura Verde e Cidades Esponja, mas que, no entanto, podem não atender as premissas atuais das SBNs. Um exemplo emblemático com os pavimentos drenantes que não são considerados por muitos como uma SBN, mas são técnicas de extrema importância dentro das abordagens *BMP, LID, SUDS, WSUD*, Infraestrutura Verde e Cidades Esponja.

O Catalogo de Soluções Brasileiro produzido pelo Centro de Estudos e Gestão Ambiental (2022), apresenta a seguinte divisão para as Soluções Baseadas na Natureza: Tipo 1: Envolve a preservação de ecossistemas naturais, promovendo ações mínimas para manutenção e potencialização dos serviços ecossistêmicos promovidos; Tipo 2: Consiste na restauração e revitalização de ecossistemas existentes que sofrerão alterações, melhorando os serviços específicos oferecidos; Tipo 3: Refere-se à criação ou construção de novos ecossistemas, utilizando estruturas e dispositivos (Jardins de chuva, *Wetlands* construídos, biovaletas, telhados verdes, etc). Portanto, de acordo com o catálogo, as SBN tipo 3 são as que agrupam as técnicas que tem interface com a temática águas urbanas.

A Figura 3 apresenta um infográfico mostrando simetrias e especificidades existentes entre os termos que abordam o manejo sustentável das águas pluviais urbanas. Como é possível observar, nem todas as SBN tem ligação direta com o manejo das águas pluviais urbanas (embora entenda-se que todos os sistemas se interligam e se impactam de forma indireta), estando somente a SBN tipo 3 ligada ao manejo sustentável das águas urbanas. As abordagens de manejo sustentável não se inserem por completo nas SBNs por incorporarem elementos que não atendem as premissas para classificação de uma SBN. E quanto a interrelação dos termos ligados ao manejo sustentável das águas pluviais urbanas, é possível observar que cada um tem suas especificidades ligados aos componentes culturais, políticos e econômicos de cada localidade, no entanto se integram no propósito de realizar o manejo sustentável das águas pluviais urbanas.

A Figura 4 a seguir mostra um diagrama de nuvem de palavras mostrando o resultado obtido para a busca no *Web of Science* por publicações nos últimos 40 anos contendo os termos: Manejo /Gestão de águas pluviais / *Stormwater management* / Drenagem sustentável / *Sustainable drainage / Sustainable urban drainage systems* / *SUDS* / Infraestrutura verde / *Green infrastructure* / Infraestrutura Verde e Azul / IVA / IV / Soluções Baseadas na Natureza / Nature-based Solutions / SBN / Desenvolvimento de baixo impacto / *Low impact development* / *LID* / Cidades esponja / *Sponge Cities* / Desenho urbano sensível à água / *Water sensitive urban design / WSUD*; associados ao termo drenagem urbana e águas urbanas.

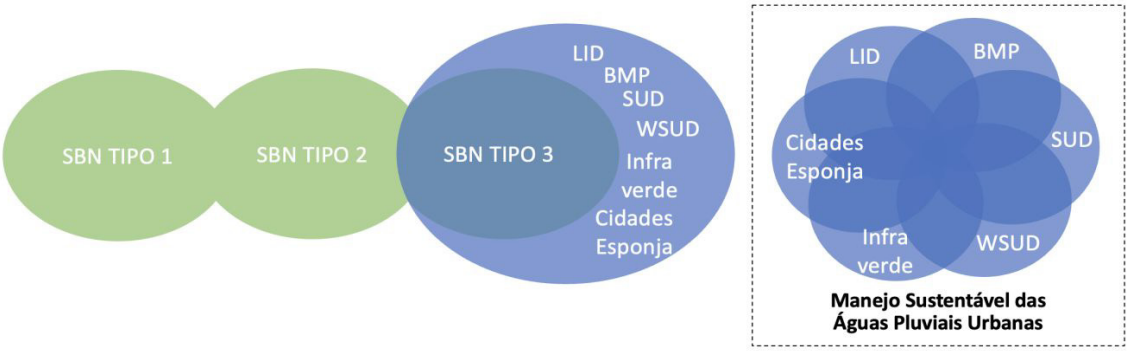

Figura 3 – Simetrias e especificidades dos termos que abordam o manejo sustentável das águas pluviais urbanas. Fonte: Dos autores.

Figura 4 – Uso dos termos relacionados ao manejo sustentáveis de águas urbanas na literatura científica. Fonte: Dos autores a partir de *Web of Science,* 2024.

Como é possível observar, quando se trata de águas urbanas, a predominância é do termo "Manejo de Águas Urbanas" (67.474), seguido de "Drenagem Sustentável" (64.086), "Infraestrutura Verde" (14.152), "Soluções Baseadas na Natureza" (6.844), "Desenvolvimento de Baixo Impacto" (6.696), "Cidades Esponja" (1.357) e "Desenho urbano sensível à água" (1.023).

ANÁLISE CRÍTICA SOBRE O USO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA NO MANEJO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

As SBN têm um grande potencial para transformar a gestão de recursos naturais e promover a sustentabilidade. No entanto, o sucesso depende de uma implementação cuidadosa, baseada em ciência sólida, colaboração ampla e um entendimento profundo das complexidades envolvidas. O conceito de SBN deve resultar em ações práticas que tragam benefícios tangíveis e sustentáveis, além de gerar um equilíbrio das dimensões social, econômica e ambiental (Nesshöver et al., 2017; Krauze & Wagner, 2019; Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

Os investimentos em Soluções Baseadas na Natureza podem efetivamente abordar os desafios interligados da segurança hídrica, energética e alimentar, conhecidos como o nexo água-energia-alimento (Bennett et al., 2016). Embora haja um interesse crescente nas SBN, os investimentos atuais não correspondem à escala dos riscos enfrentados globalmente. As SBN oferecem diversas soluções viáveis para apoiar ou substituir as infraestruturas cinzas, no entanto, sua adoção em larga escala depende de uma mudança de mentalidade e de políticas públicas que priorizem a sustentabilidade. A implementação das SBN, requer planejamento integrado e uma abordagem que envolva governos, comunidades e especialistas de diversas áreas. A participação da sociedade civil é crucial para o sucesso desses projetos, garantindo que as soluções sejam adaptadas às necessidades locais e sustentáveis a longo prazo (Longato et al., 2024).

Desta forma, para maximizar o potencial dessas soluções em promover sustentabilidade e resiliência dos ecossistemas diante das mudanças climáticas, é essencial, além do desenvolvimento de marcos regulatórios e financeiros robustos, expandir o conhecimento, aumentando a conscientização sobre os benefícios de longo prazo (Bennett et al., 2016).

Cabe salientar que apesar do uso de SBN no manejo das águas ser de grande importância, as técnicas de controle na fonte têm ação limitada contra eventos extremos de precipitação, sendo necessária sua integração a outras infraestruturas de grande porte, principalmente em áreas

densamente ocupadas. A integração entre estas estruturas traz como benefício o aumento da resiliência das grandes estruturas e a diminuição de sua sobrecarga. Apesar dessas infraestruturas terem baixa efetividade no controle volumétrico em precipitações de grande intensidade, elas melhoram o tempo de concentração da bacia hidrográfica, melhorando a resposta a cheias das infraestruturas cinzas. A maior atuação das infraestruturas de controle na fonte como as SBN telhado verde, jardim de chuva e biovaleta, em termos de quantidade, são nas chuvas de menor intensidade, além disso, elas têm efetiva atuação no tratamento das águas e o fornecimento de outros serviços ecossistêmicos (Silva et al., 2024a, 2024b; Qiu et al., 2024).

Outro aspecto importante é o planejamento urbano adaptativo, que leva em consideração a imprevisibilidade das mudanças climáticas e adota uma abordagem resiliente com o uso de SBN. A criação de corredores ecológicos, que integram soluções de infraestrutura verde ao planejamento urbano, e a recuperação de áreas degradadas são exemplos de como as cidades podem se adaptar a essas novas condições (Frischenbruder & Pellegrino, 2006). A vegetação urbana tem um papel importante na regulação da temperatura, ajudando a reduzir o efeito de ilhas de calor e a melhorar a qualidade do ar (Muñoz & Duarte, 2024).

Importante também ressaltar sobre a importância indireta para as cidades das SBN aplicadas nas áreas fora das cidades, na macro bacia hidrográfica. SBN como a restauração e proteção de cabeceiras ajudam a absorver o excesso de água e a proteger as áreas a jusante contra inundações. Outro exemplo é a restauração e proteção de manguezais que protegem as zonas costeiras contra os efeitos de maré e de elevação do nível do mar (Muñoz & Duarte, 2024). Essas soluções, além de gerar ganhos valiosos para as áreas naturais preservadas, promovendo a biodiversidade, auxiliam na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas nas cidades, resultando em enorme ganho social.

Por fim, a educação ambiental e a conscientização da população também são fundamentais para garantir o sucesso das SBN. Comunidades bem informadas têm mais chances de adotar práticas sustentáveis e de participar ativamente na preservação dos recursos hídricos (Rauf et al., 2024).

ANÁLISE DE CASOS DE MANEJO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

O manejo sustentável das águas pluviais urbanas é um tema de crescente importância global, especialmente em um contexto de mudanças climáticas. A análise de estudos de caso fornece percepções valiosas sobre como Soluções Baseadas na Natureza (SBN) podem ser aplicadas efetivamente para o manejo sustentável das águas urbanas, promovendo a resiliência e a sustentabilidade em diferentes contextos.

Cidades como Copenhague, na Dinamarca têm se destacado pela implementação de soluções sustentáveis, o planejamento urbano da cidade inclui parques que atuam como bacias de retenção durante chuvas intensas, ajudando a reduzir o risco de inundações e a promover a biodiversidade local. A cidade investiu em soluções que transformaram espaços urbanos, como praças, em áreas de retenção temporária de água. A cidade também se tornou um exemplo de como políticas públicas proativas e a colaboração entre diferentes setores podem levar a resultados duradouros, evidenciando a importância da gestão colaborativa na construção e na manutenção das infraestruturas verdes urbanas (Backhaus & Fryd, 2012; Krauze & Wagner, 2019).

Em Singapura, a gestão hídrica é tratada como uma prioridade nacional devido à escassez de recursos naturais. O país investiu em sistemas de coleta de água da chuva, reciclagem de água e parques que também funcionam como áreas de retenção. Mesmo com recursos limitados, foi desenvolvido o programa *Active, Beautiful, Clean Waters* (ABC Waters), que transforma canais e reservatórios em locais atraentes que também funcionam como sistemas de purificação natural. Tal ação reflete a importância da integração paisagística das infraestruturas como elemento de conexão da agua nas áreas urbanas (Krauze & Wagner, 2019).

Outro exemplo relevante é o de Melbourne, na Austrália, que adotou o conceito de "cidades esponja", implantando diversas infraestruturas para infiltração das águas. A cidade criou o programa *"Green your Laneways"* que promove a vegetação em becos no centro da cidade, transformando lugares antes marginalizados em pontos de encontro para a população, contribuindo para o aumento da qualidade de vida urbana (van den Bosch & Sang, 2017; Muñoz & Duarte, 2024).

Toronto, no Canadá, implementou regulamentações para a retenção de águas pluviais, obrigando novos empreendimentos a incluir soluções que minimizem o escoamento, exemplificando a aplicação de um mecanismo de comando e controle na regulação das águas pluviais urbanas na escala do lote. Jardins de chuva, telhados verdes e bacias de retenção, também são amplamente utilizados ao longo do território para o gerenciamento da água da chuva de forma sustentável (Silva et al., 2024c).

Na Europa, o conceito de SBN foi integrado ao programa de pesquisa e inovação Horizon 2020, que procura promover o crescimento econômico e a criação de empregos, enquanto aborda questões ambientais. O objetivo é transformar soluções naturais em oportunidades de inovação. Existem vários casos emblemáticos em diversos países Europeus de manejo sustentável das águas urbanas, que vão desde projetos de restauração de cursos d'água, sistemas *wetlands* construídos para tratamento das águas e programas de técnicas de controle na fonte. Além disso, a Europa tem se destacado na promoção de marcos regulatórios que auxiliam na promoção da implantação de SBN não só nos países membros, mas também em países de economia emergente e de baixa renda, através de editais e financiamentos (Nesshöver et al., 2017; O'Sullivan et al., 2020; Davies et al., 2021; Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

Nos EUA alguns estados e cidades se destacam pelo engajamento e protagonismo no manejo sustentável das águas urbanas. Dentre eles, destaca-se a cidade de Denver com suas infraestruturas de retenção e detenção, o Arkansas com seu arcabouço legal que traz mecanismos de comando e controle na regulação das águas urbanas, a cidade de Nova York que tem inovado com um programa massivo de implantação de Jardins de chuva em sua área urbana densamente ocupada e por fim Seattle com seu programa de enriquecimento de reservatórios verdes. Destaca-se aqui a importância dos manuais de projeto voltados ao manejo sustentável das águas urbanas que possibilitam a padronização de procedimentos tanto na adoção das técnicas quando na aprovação de projetos junto ao poder publico (Miguez et al., 2015; Fletcher et al., 2015; Vinagre et al., 2023; Rees & Doyon, 2023).

A China tem se destacado como pioneira na implementação do conceito de Cidades Esponja, uma abordagem sustentável para o manejo sustentável das águas urbanas em resposta aos desafios crescentes da urbanização acelerada e das mudanças climáticas. O programa de Cidades Esponja, que é uma política de estado na China, visa transformar áreas urbanas em sistemas que absorvem, armazenam, filtram e liberam águas pluviais de maneira controlada, minimizando os riscos de inundações e melhorando a qualidade da água. Um dos primeiros e mais notáveis exemplos dessa iniciativa é a cidade de Wuhan, que adotou diversas técnicas de absorção de água, incluindo a criação de parques, lagoas artificiais e pavimentos permeáveis. Outro exemplo significativo é a cidade de Beijing, que enfrentava sérios problemas de enchentes e poluição hídrica. A implementação de Cidades Esponja em Beijing envolveu a revitalização de áreas degradadas, a criação de zonas verdes multifuncionais e a instalação de tecnologias avançadas de retenção e infiltração de água. Essas medidas resultaram na redução significativa dos escoamentos superficiais durante eventos de chuva intensa e na melhoria da qualidade das águas residuais, contribuindo para um ambiente urbano mais saudável e resiliente. Além disso, o programa se baseia na colaboração entre governos locais, setor privado e cidadãos é essencial para o sucesso dessas iniciativas, garantindo que as soluções sejam adaptadas às necessidades específicas de cada região, enfatizando a importância da participação comunitária e da educação ambiental (Li et al., 2017; Yin et al., 2021; Yuan et al., 2022; Zhang, 2022; Rauf et al., 2024).

Um caso interessante é o de Bangkok, que adotou um programa de assentamentos onde foram implementados projetos de SBN. Os residentes compartilharam suas experiências com projetos de plantio e jardins comunitários, enfatizando a importância de soluções que possam ser facilmente mantidas e que gerem benefícios tangíveis, como a produção de alimentos, destacando também a importância da gestão colaborativa, engajando a população no processo e garantindo a sustentabilidade das ações (Rauf et al., 2024).

No Brasil, apesar dos desafios econômicos, sociais e políticos, as iniciativas voltadas às Soluções Baseadas na Natureza (SBN) para o manejo sustentável das águas urbanas têm ganhado destaque nos últimos anos. Cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Recife e Curitiba estão na vanguarda dessas práticas, implementando projetos que incluem a criação de parques lineares, restauração de áreas ripárias e implantação de programas de jardins de chuva. Apesar dos avanços, desafios como a escassez de financiamento, a necessidade de maior integração entre setores e a falta de conscientização ampla ainda dificultam a implantação e a continuidade de programas de larga escala, exigindo esforços contínuos para expandir e consolidar essas práticas (Oliveira Campos, 2021; Evers et al., 2022; Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

Um exemplo importante é a implantação do Parque Linear Ribeirão das Pedras, em Campinas, onde foram realizadas diversas intervenções com utilização de técnicas da infraestrutura verde para a mitigação dos impactos dos eventos extremos. Foi realizada a revitalização das áreas ripárias, que oferecem habitats para a fauna, e a criação de espaços multifuncionais que absorvem o excesso de água durante as precipitações e oferecem áreas recreativas nos períodos sem chuva (Frischenbruder & Pellegrino, 2006; Ramos & Freiria, 2024). Belo Horizonte, também tem se destacado pela

implementação de SBN em sua infraestrutura urbana. A cidade criou parques lineares, como o Parque das Mangabeiras, que atua tanto como área de lazer quanto como uma solução para a gestão hídrica. Essas áreas ajudam a absorver o escoamento superficial e promovem a biodiversidade, ao mesmo tempo em que fornecem espaços recreativos para a população. Em Brasília, esforços recentes incluem a criação de áreas de retenção e a recuperação de cursos d'água, além de manuais orientativos para a implantação de SBN (Silva et al., 2024d).

A análise de diversos casos de manejo sustentável das águas pluviais urbanas revela que as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) são eficazes na promoção da resiliência e sustentabilidade urbana em diferentes contextos globais. Cidades como Copenhague, Singapura, Melbourne, Toronto e Beijing demonstraram que a implementação de SBN, através de parques de retenção e programas de infiltração, não apenas mitiga os riscos de inundações e melhora a qualidade da água, mas também promove a biodiversidade e oferece espaços recreativos para a população. A experiência chinesa com as Cidades Esponja, por exemplo, destaca a importância da integração entre governos locais, setor privado e comunidade para o sucesso dessas iniciativas. Além disso, programas europeus e norte-americanos evidenciam que políticas públicas proativas, regulamentações robustas e financiamento adequado são fundamentais para a adoção e manutenção das SBN. No Brasil, embora haja avanços significativos em cidades como Campinas, Belo Horizonte e Brasília, persistem desafios como a escassez de recursos financeiros, a necessidade de maior integração entre setores e a falta de conscientização ampla. Esses exemplos internacionais e nacionais ressaltam que, para alcançar um manejo sustentável das águas urbanas, é essencial adotar uma abordagem multidisciplinar, promover a inovação tecnológica e o engajamento social, além disso, é possível observar uma forte presença da gestão colaborativa, mostrando a importância da construção coletiva das soluções e também da gestão do espaço, fator determinante para a sustentabilidade dos processos de manejo sustentável das águas pluviais urbanas. Assim, as SBN se estabelecem como ferramentas indispensáveis para transformar as cidades em ambientes mais adaptáveis, sustentáveis e resilientes diante das mudanças climáticas e do crescimento urbano desordenado.

CAMINHOS FUTUROS PARA O MANEJO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS NO BRASIL E OUTROS PAÍSES DE ECONOMIA EMERGENTE

O futuro do manejo sustentável das águas pluviais urbanas depende fortemente da adoção de abordagens integradas e holísticas que combinem infraestruturas cinzas e verdes. A adoção de sistemas que atuem em todos os 7 componentes do manejo das águas urbanas (Figura 1) pode aumentar significativamente a resiliência das cidades frente a eventos climáticos extremos e ao crescimento urbano acelerado. Para alcançar isso, é essencial desenvolver planos urbanos que incorporem múltiplos objetivos ambientais e sociais, como a melhoria da qualidade da água, a promoção da biodiversidade e a mitigação de inundações. A coordenação entre diferentes setores, como urbanismo, engenharia civil, ecologia e gestão de recursos hídricos, permitirá a criação de sistemas multifuncionais que atendam às diversas necessidades das populações urbanas, promovendo cidades mais sustentáveis e resilientes.

Além disso, a implementação eficaz de SBN requer o desenvolvimento de marcos regulatórios e financeiros robustos que incentivem a adoção dessas soluções. Políticas públicas que priorizem a sustentabilidade ambiental e a gestão integrada das águas são fundamentais para direcionar investimentos e recursos para projetos de infraestrutura verde, por exemplo. Programas de financiamento que ofereçam suporte econômico para a construção e manutenção de SBN, bem como incentivos fiscais para empreendimentos que adotem práticas sustentáveis, podem acelerar a transformação das cidades. A colaboração entre governos, setor privado e instituições financeiras é crucial para garantir que os projetos de manejo sustentável das águas pluviais urbanas sejam viáveis e escaláveis, atendendo às necessidades atuais e futuras das comunidades.

Importante ressaltar que o planejamento urbano deve ser adaptativo, levando em conta as incertezas trazidas pelas mudanças climáticas. A integração de soluções híbridas, que combinem infraestruturas cinzas, sistemas tecnológicos e elementos naturais, pode ser a chave para criar cidades mais resilientes e habitáveis. A pesquisa contínua e o monitoramento das intervenções também são essenciais para ajustar as estratégias conforme necessário e garantir que os investimentos em infraestrutura resultem em benefícios duradouros para a sociedade (van den Bosch & Sang, 2017).

Longato et al. (2024) e Muñoz & Duarte (2024) destacam a importância da incorporação legal da necessidade de adoção das SBN nos planos urbanos, auxiliando assim na mitigação das mudanças climáticas e combate à perda da biodiversidade. Os autores sugerem a adoção de instrumentos

regulatórios como zoneamento hidrológico e zoneamento de áreas para proteção ambiental, além da criação de instrumentos baseados em incentivos, como bônus e isenção fiscal, incentivando assim o investimento privado em SBN, desonerando assim o poder público. A preservação ambiental e a gestão econômica estão intrinsecamente ligadas, beneficiando a sociedade em longo prazo. A degradação da qualidade das águas pode gerar aumento do gasto com abastecimento de água, enquanto investimentos em ações de conservação resultam em economia (Belladona et al., 2025).

A inovação tecnológica e a pesquisa científica desempenham um papel central no avanço do manejo sustentável das águas pluviais urbanas. O desenvolvimento de novas tecnologias, como sensores inteligentes para monitoramento em tempo real das águas e sistemas automatizados de gestão de drenagem, pode otimizar a eficiência das infraestruturas e permitir uma resposta rápida a emergências. Investimentos em pesquisa para aprimorar técnicas de restauração ecológica e criar dispositivos de infraestrutura verde, como telhados verdes mais eficientes e jardins de chuva otimizados, são essenciais para expandir as capacidades das cidades em gerir suas águas de maneira sustentável. Além disso, a utilização de dados e modelos preditivos pode ajudar a planejar melhor as intervenções, garantindo que as soluções adotadas sejam adaptáveis às mudanças climáticas e às necessidades específicas de cada região.

Finalmente, a participação ativa da comunidade e a educação ambiental são componentes fundamentais para o sucesso das futuras estratégias de manejo sustentável das águas urbanas. A conscientização pública sobre a importância das SBN e os benefícios que elas trazem para a qualidade de vida pode fomentar um maior engajamento nas iniciativas de sustentabilidade. Programas educativos que ensinem práticas de conservação da água e incentivem a participação em projetos comunitários, como a criação de jardins de chuva e a manutenção de áreas verdes, podem fortalecer o vínculo entre os cidadãos e seu entorno ambiental. Além disso, a inclusão das comunidades no processo de planejamento e implementação das Infraestruturas verdes garante que as soluções desenvolvidas atendam às necessidades locais e sejam sustentáveis a longo prazo, promovendo um senso de responsabilidade compartilhada e resiliência coletiva frente aos desafios ambientais.

A vida urbana moderna está associada a diversos problemas de saúde, como o aumento de doenças não transmissíveis—diabetes, obesidade, doenças respiratórias crônicas, câncer e distúrbios mentais e cardiovasculares—agravados por estilos de vida sedentários e estressantes. Além disso, a exposição elevada a poluentes tóxicos, como a poluição do ar e os ruídos urbanos, contribui significativamente para a mortalidade nas cidades. As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) podem auxiliar na mitigação desses problemas ao incorporar elementos naturais nos ambientes urbanos, promovendo espaços verdes que incentivam a atividade física, reduzem o estresse, melhoram a qualidade do ar e regulam o microclima. Dessa forma, as SBN oferecem estratégias inovadoras para tornar as cidades mais saudáveis e sustentáveis, enfrentando os desafios atuais e futuros relacionados à saúde pública em contextos urbanos (van den Bosch & Sang, 2017).

Por fim, o manejo sustentável das águas pluviais urbanas das águas urbanas em países de economia emergente e de baixa renda enfrenta uma série de desafios significativos. A escassez de recursos financeiros limita a capacidade desses países de investir em infraestruturas e tecnologias sustentáveis, necessárias para a adaptação de suas cidades ao novo contexto climático. Barreiras institucionais, como a ausência de políticas públicas claras e regulamentações adequadas, também impedem o avanço, assim como a necessidade de uma coordenação multissetorial eficiente entre diferentes níveis de governo e setores da sociedade. A urbanização desordenada e a ocupação irregular de áreas vulneráveis complicam a integração das infraestruturas e a adoção de técnicas sustentáveis, enquanto a resistência cultural e a falta de conscientização da população sobre os benefícios dessas soluções limitam sua aceitação e adesão. Além disso, a manutenção contínua das infraestruturas a longo prazo é um desafio constante, exigindo um compromisso contínuo e esforços colaborativos que envolvem o poder público e a população. Superar esses obstáculos é essencial para que os países emergentes e de baixa renda possam aumentar a segurança das suas populações aos desafios atuais e futuros, promovendo a resiliência urbana, a melhoria da qualidade da água e a sustentabilidade ambiental.

CONCLUSÕES

O manejo sustentável das águas pluviais urbanas é essencial para enfrentar os desafios impostos pela urbanização acelerada e pelas mudanças climáticas, especialmente em contextos como o do Brasil, onde a infraestrutura insuficiente e inadequada e o crescimento desordenado agravam o risco hidrológico da população. A integração dos sete componentes do manejo das águas pluviais urbanas —

drenagem, detenção, retenção, infiltração, evaporação, tratamento e aproveitamento — é fundamental para a criação de sistemas multifuncionais e sustentáveis que replicam o funcionamento do ciclo hidrológico natural, proporcionando benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Como visto, quando se trata do propósito de manejo sustentável das águas pluviais urbanas, diferentes termos são utilizados em diferentes localidades - *BMP, LID, SUDS, WSUD*, Infraestrutura Verde e Cidades Esponja – refletindo as nuances regionais e culturais, além dos interesses específicos territoriais. Além disso, quando se trata das águas urbanas, não é possível incorporar por completo estes termos dentro do termo Soluções Baseadas na Natureza – SBNs, uma vez que eles podem incluir técnicas que apesar de realizarem o manejo sustentável não atender as premissas atuais das SBNs. Um exemplo emblemático com os pavimentos drenantes que não são considerados por muitos como uma SBN, mas são técnicas de extrema importância dentro destas abordagens de manejo sustentável das águas pluviais urbanas. Neste sentido, o estudo apresentou uma análise da sobreposição dos termos onde foi possível observar a intersecção, parcial, dentro das SBN de Tipo 3.

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) para o manejo sustentável das águas pluviais urbanas, através da infraestrutura Verde, demonstram-se como abordagens eficazes ao replicarem processos naturais, promovendo a resiliência das cidades, mitigando os impactos climáticos e enriquecendo a biodiversidade urbana. Ressalta-se neste estudo que para garantir o sucesso das SBNs, é imprescindível um planejamento cuidadoso, multidisciplinar e a colaboração entre diferentes setores da sociedade, incluindo governos, setor privado, comunidades e especialistas de diversas áreas.

Quando se trata das terminologias, como foi visto neste estudo, apesar do grande uso do termo "Soluções Baseadas na Natureza" nos últimos anos, ainda há uma grande predominância, quando se trata de águas urbanas, do uso dos termos "Manejo de águas urbanas", "Drenagem sustentável" e até mesmo "Infraestrutura Verde" na literatura científica.

Por fim, ressalta-se que a implementação de políticas públicas robustas, incentivando investimentos em infraestruturas sustentáveis e promovendo a inovação tecnológica, é crucial para superar as barreiras financeiras e técnicas existentes. Além disso, a conscientização e o engajamento comunitário desempenham um papel vital na manutenção e sustentabilidade das soluções adotadas. Ao adotar uma abordagem integrada e holística, as cidades podem transformar suas práticas de manejo das águas pluviais urbanas, tornando-se mais resilientes e sustentáveis, garantindo assim uma melhor qualidade de vida para seus habitantes e a preservação dos recursos hídricos para as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

Backhaus, A., & Fryd, O. (2012). Analyzing the first loop design process for large-scale sustainable urban drainage system retrofits in Copenhagen, Denmark. *Environment and Planning. B, Planning & Design*, *39*(5), 820-837. http://doi.org/10.1068/b37088

Banco Mundial. (2021). *World Bank country and lending groups*. Recuperado em 7 de janeiro de 2025, de https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519

Baptista, M. B., & Nascimento, N. D. O. (2002). Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, *7*(1), 29-49. http://doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p29-49

Belladona, R., Marques, G. F., & De Vargas, T. (2025). Determining the economic benefit of watershed conservation for urban water supply based on scarcity rent for water and consumer surplus. *Water Resources Management*, *39*(2), 795-808. http://doi.org/10.1007/s11269-024-03991-w

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2012). *Green infrastructure: linking landscapes and communities.* Washington, D.C.: Island Press.

Bennett, G., Cassin, J., & Carroll, N. (2016). Natural infrastructure investment and implications for the nexus: a global overview. *Ecosystem Services*, *17*, 293-297. http://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.05.006

Butler, D., & Parkinson, J. (1997). Towards sustainable urban drainage. *Water Science and Technology*, *35*(9), 53-63. http://doi.org/10.2166/wst.1997.0330

Butler, D., & Davies, J. W. (2011). *Urban drainage* (3rd ed.). London: CRC Press.

Centro de Estudos e Gestão Ambiental – CEGEE. (2022). *Catálogo de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) no Brasil*. Brasília: CEGEE.

Comissão Europeia. (2016). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities.* Bruxelas: Direção-Geral de Pesquisa e Inovação.

Corgo, J., Cruz, S. S., & Conceição, P. (2024). Nature-based solutions in spatial planning and policies for climate change adaptation: a literature review. *Ambio*, *53*(11), 1599-1617. http://doi.org/10.1007/s13280-024-02052-1

Cormier, N. S., & Pellegrino, P. R. M. (2008). Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem e Ambiente*, (25), 127-142. http://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i25p127-142

Davies, C., Chen, W. Y., Sanesi, G., & Lafortezza, R. (2021). The European Union roadmap for implementing nature-based solutions: a review. *Environmental Science & Policy*, *121*, 49-67. http://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.03.018

Evers, H., Incau, B., Caccia, L., & Corrêa, F. (2022, 2 de junho). *Soluções baseadas na natureza para adaptação em cidades: o que são e por que implementá-las.* São Paulo: WRI Brasil.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, and more: the evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, *12*(7), 525-542. http://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314

Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: a state of the art. *Advances in Water Resources*, *51*, 261-279. http://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001

Frischenbruder, M. T. M., & Pellegrino, P. (2006). Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. *Landscape and Urban Planning*, *76*(1-4), 67-78. http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.043

Garrido-Baserba, M., Sedlak, D. L., Molinos-Senante, M., Barnosell, I., Schraa, O., Rosso, D., Verdaguer, M., & Poch, M. (2024). Using water and wastewater decentralization to enhance the resilience and sustainability of cities. *Nature Water*, *2*(10), 953-974. http://doi.org/10.1038/s44221-024-00303-9

International Union for Conservation of Nature – IUCN. (2013). *Nature-based solutions: a global synthesis.* Gland: IUCN.

Krauze, K., & Wagner, I. (2019). From classical water-ecosystem theories to nature-based solutions: contextualizing nature-based solutions for sustainable city. *The Science of the Total Environment*, *655*, 697-706. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.187

Li, H., Ding, L., Ren, M., Li, C., & Wang, H. (2017). Sponge city construction in China: a survey of the challenges and opportunities. *Water*, *9*(9), 594. http://doi.org/10.3390/w9090594

Longato, D., Cortinovis, C., Balzan, M., & Geneletti, D. (2024). Identifying suitable policy instruments to promote nature-based solutions in urban plans. *Cities*, *154*, 105348. http://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105348

Marsalek, J., & Chocat, B. (2002). International report: stormwater management. *Water Science and Technology*, *46*(6-7), 1-17. http://doi.org/10.2166/wst.2002.0657

Marselle, M. R., Lindley, S. J., Cook, P. A., & Bonn, A. (2021). Biodiversity and health in the urban environment. *Current Environmental Health Reports*, *8*(2), 146-156. http://doi.org/10.1007/s40572-021-00313-9

Mello, K., Taniwaki, R. H., Paula, F. R., Valente, R. A., Randhir, T. O., Macedo, D. R., Leal, C. G., Rodrigues, C. B., & Hughes, R. M. (2020). Multiscale land use impacts on water quality: assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, *270*, 110879. http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879

Miguez, M. G., Rezende, O. M., & Veról, A. P. (2015). City growth and urban drainage alternatives: sustainability challenge. *Journal of Urban Planning and Development*, *141*(3), 04014026. http://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000219

Monteiro, A., Ankrah, J., Madureira, H., & Pacheco, M. O. (2022). Climate risk mitigation and adaptation concerns in urban areas: a systematic review of the impact of IPCC assessment reports. *Climate*, *10*(8), 115. http://doi.org/10.3390/cli10080115

Muñoz, L. S., & Duarte, D. H. S. (2024). Green infrastructure as a planning tool: a comprehensive systematization of urban redesign strategies to increase vegetation within public places. *Cities*, *156*, 105551. http://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105551

Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Külvik, M., Rey, F., van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E., & Wittmer, H. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: an interdisciplinary perspective. *The Science of the Total Environment*, *579*, 1215-1227. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106

O'Sullivan, F., Mell, I., & Clement, S. (2020). Novel solutions or rebranded approaches: evaluating the use of nature-based solutions (NBS) in Europe. *Frontiers in Sustainable Cities*, *2*, 572527. http://doi.org/10.3389/frsc.2020.572527

Oliveira Campos, V. N. (2021). Soluções baseadas na natureza (SbN) e drenagem urbana em cidades latino-americanas: desafios para implementar soluções fluídas em ambientes rígidos. *Revista Labverde*, *11*(1), 73-94. http://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189314

Qiu, Y., Schertzer, D., Tisserand, B., & Tchiguirinskaia, I. (2024). Spatio-temporal rainfall variability and its impacts on the hydrological response of nature-based solutions. *Urban Water Journal*, *21*, 1147-1163.

Ramos, L. A., & Freiria, R. C. (2024). Soluções Baseadas na Natureza (SbN): conceito e análise aplicada no município de Campinas (SP). *Labor e Engenho*, *18*, e024009. http://doi.org/10.20396/labore.v18i00.8675463

Rauf, H. A., Wolff, E., Natakun, B., Marome, W., & Hamel, P. (2024). Aligning nature-based solutions and housing policy: a study on stakeholders' perceptions of nature within informal settlement upgrading projects. *Cities*, *153*, 105264. http://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105264

Rees, A., & Doyon, A. (2023). Unsettling NbS: a pathway towards shifting colonial power relations in nature-based solutions research and practice. *PLOS Climate*, *2*(11), e0000307. http://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000307

Silva, A. M., Thebaldi, M. S., Silva, R. A., Obraczka, M., Pinto, P. R. F., Merlo, M. N., Souza, N. P., & Diotto, A. V. (2024a). Performance of LID practices using different placement strategies in an urban drainage system under continuous temporal simulation. *Urban Water Journal*, *21*(8), 953-964. http://doi.org/10.1080/1573062X.2024.2397774

Silva, D. G. J., Scudelari, A. C., & Medeiros, J. D. (2024b). Performance of low impact development techniques in flood hazard mitigation in a closed urbanised catchment for extreme precipitation events. *Urban Water Journal*, *21*(8), 987-1002. http://doi.org/10.1080/1573062X.2024.2397785

Silva, D. F., Tucci, C. E. M., Kuele, P. M., Costa, M. E. L., Correa, A. C. S., Monteiro, M. P., & Nascimento Araújo, L. M. (2024c). Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, *21*, e1.

Silva, J. R., Oliveira, M. T., & Santos, P. H. (2024d). Urban flood management in Brazilian cities: a comparative study of nine municipalities. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, *29*(4), 85-102.

Sowińska-Świerkosz, B., & García, J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, *2*, 100009. http://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009

Tucci, C. E. (2003). Drenagem urbana. *Ciência e Cultura*, *55*(4), 36-37.

Tucci, C.E. (2012). *Gestão da drenagem urbana*. Brasília: CEPAL.

Tucci, C.E. (2016). Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, *13*(1), 29-42. http://doi.org/10.21168/rega.v13n1.p29-42.

van den Bosch, M., & Sang, Å. O. (2017). Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health: a systematic review of reviews. *Environmental Research*, *158*, 373-384. http://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.040

Vinagre, V., Fidélis, T., & Luís, A. (2023). How can we adapt together? Bridging water management and city planning approaches to climate change. *Water*, *15*(4), 715. http://doi.org/10.3390/w15040715

Wong, T., & Eadie, M. L. (2000). Water sensitive urban design: a paradigm shift in urban design. In *Proceedings of the 10th World Water Congress* (pp. 12-16). Urbana, IL: International Water Resources Association.

Xu, J., Dai, J., Wu, X., Wu, S., Zhang, Y., Wang, F., Gao, A., & Tan, Y. (2023). Urban rainwater utilization: A review of management modes and harvesting systems. *Frontiers in Environmental Science*, *11*, 1025665. http://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1025665

Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C., Li, Q., Wang, W., Yang, Y., Fu, G., & Chen, A. S. (2021). Sponge city practice in China: a review of construction, assessment, operational and maintenance. *Journal of Cleaner Production*, *280*, 124963. http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124963

Yuan, Y., Zhang, Q., Chen, S., & Li, Y. (2022). Evaluation of comprehensive benefits of sponge cities using meta-analysis in different geographical environments in China. *The Science of the Total Environment*, *836*, 155755. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155755

Zhang, Z. (2022). Can the Sponge City Project improve the stormwater drainage system in China? Empirical evidence from a quasi-natural experiment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *75*, 102980. http://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102980

Contribuições dos autores:

Juliana Caroline de Alencar: pesquisa, revisão da bibliografia, metodologia, análise de dados, elaboração do texto.

José Rodolfo Scarati Martins: revisão metodológica, análise de dados e revisão textual.

Paulo Renato Mesquita Pellegrino: revisão metodológica, análise de dados e revisão textual.

Mariana Marchioni: revisão metodológica, análise de dados e revisão textual.