







# Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso

Urban drainage in Brazil: principles, management and study cases

Daniele Feitoza Silva<sup>1</sup> , Carlos Eduardo Morelli Tucci<sup>1</sup> , Paola Marques Kuele<sup>1</sup> , Maria Elisa Leite Costa<sup>2</sup> , Ana Cristina Strava Correa<sup>2</sup> , Maurício Pontes Monteiro<sup>2</sup>, Lígia Maria Nascimento de Araújo<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Rhama Analysis, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mails: pariconha@gmail.com, carlos.tucci@rhama-analysis.com, paola.kuele@rhama-analysis.com

<sup>2</sup>Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, Brasília, DF, Brasil. E-mails: maria.costa@ana.gov.br, astrava@ana.gov.br, mpontes@ana.gov.br, ligia.araujo@ana.gov.br

**Como citar:** Silva, D. F., Tucci, C. E. M., Marques, P. K., Costa, M. E. L., Correa, A. C. S., Monteiro, M. P., & Araújo, L. M. N. (2024). Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e1. <https://doi.org/10.21168/regav.21e1>

**RESUMO:** A Lei Nº 14.026/2020 instituiu um novo marco legal do saneamento básico no Brasil. Esta lei apresentou mudanças a fim de impulsionar melhorias na prestação dos serviços do setor, e definindo metas de universalização para abastecimento de água potável e esgotamento sanitário. Especificamente para a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (DMAPU) a referida legislação não especificou os resultados desejados. O cenário brasileiro de DMAPU, no entanto, é diverso e repleto de desafios que precisam ser vencidos em busca de um ambiente urbano integrado e sustentável que promova saúde e bem-estar social. Neste artigo é apresentado um panorama do setor de DMAPU no país, identificando os principais problemas e soluções a partir de uma análise de estrutura institucional, técnica, da regulação, do financiamento, planejamento e gestão dos serviços públicos. Esta análise é também realizada a partir da aplicação de estudos de caso à municípios brasileiros que representassem as diferenças e dimensões continentais do país.

**Palavras-chave:** Drenagem Urbana; Manejo de Águas Pluviais; Gestão e Regulação; Brasil.

**ABSTRACT:** The new national legislation from 2020, update the sanitation legislation in Brazil with the objective to achieve the goals of the services until 2033. In relation to stormwater, a sanitation service, the legislation did not mention the overall goals. Stormwater scenario in Brazil has many challenges which needs to be developed in an integrated and sustainable management. In this paper is presented an overview of the stormwater sector in the country, presenting the main issues and solutions considering the structure of institutional, technical, regulation, financing, planning and management of the services. This assessment is based in case studies of a few Brazilians municipalities which represents the differences and dimensions of a continental country.

**Keywords:** Urban Drainage; Stormwater; Management and Regulation; Brazil.

## INTRODUÇÃO

A Lei Nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007), estabeleceu o marco legal do Saneamento Básico<sup>1</sup> e seus serviços. Esta Lei sofreu modificações 13 anos depois, quando a Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (Brasil, 2020), atualizou a legislação quanto as metas e atribuições institucionais de gestão, atribuindo à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a competência de instituir normas de referência para a regulação da prestação dos serviços públicos de saneamento básico no país.

O titular dos serviços é o município e o Distrito Federal, no caso de interesse local, ou o Estado, em conjunto com os municípios, em caso de interesse comum. Os serviços podem ser prestados de

<sup>1</sup>Saneamento básico = abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (Brasil, 2007).



forma direta, indireta ou por meio de gestão associada, realizados por prestadores públicos, ou por concessionários, regulados por Entidades Reguladoras Infranacionais (municipais, intermunicipais e estaduais). Ainda, são instrumentalizados pelo Plano de Saneamento Básico Municipal e outros planos específicos por serviço, e geridos por instituições e recuperação de custo estabelecidos tarifas, taxas ou outros recursos públicos. No entanto, na prática se observa um baixo atendimento às metas previstas nos Planos, seja por falta de recursos ou pela falta de entendimento do sistema por parte atores envolvidos.

O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil conseguiu atingir níveis próximos à universalização em abastecimento de água. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Água e Esgoto, 5.337 municípios declararam possuir sistema público de água em 2020, representando 96% dos municípios brasileiros (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2021a). Para os serviços de esgotamento sanitário – 50,8% de índice de tratamento de esgotos gerados (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2021b) – e coleta a e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos – 90,5% da população total é atendida com coleta (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2021c), a cobertura ainda é limitada, mas com uma estrutura institucional mínima em quase todos os municípios brasileiros. Todavia, para a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas ainda se observa, além de limitações nos serviços e na estrutura institucional, com impactos generalizados pela ausência e deficiência na prestação e gestão deste serviço, a dificuldade e ausência da definição dos serviços a serem prestados e consequente dificuldade no estabelecimento de parâmetros e métricas de universalização.

Neste estudo é apresentada a problemática da DMAPU no Brasil, discutida a partir da visão do serviço como integrante do saneamento, da sua má interpretação em termos conceituais e de legislação, bem como problemas associados à sua gestão nos municípios brasileiros. Por fim, são apresentados Estudos de Caso de municípios brasileiros que corroboram com esses problemas do setor.

## **ÁGUAS URBANAS E SANEAMENTO BÁSICO**

As águas urbanas englobam o sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas, a gestão dos resíduos sólidos, tendo como metas a saúde, a qualidade de vida e a conservação ambiental (adaptado de Tucci, 2008). Estes elementos são, em suma, complementares, constituem os serviços de água na área urbana e compõem os serviços de saneamento básico, cujo principal ator é o usuário.

Por um lado, as águas urbanas envolvem o planejamento urbano, que é o condutor da ocupação do espaço dentro das componentes institucionais da área urbana (aspectos legais e administrativos) com os serviços de água (saneamento). Por outro, o saneamento também se apresenta dentro da gestão dos recursos hídricos, por se tratar de um usuário da água e potencial poluente, além de estar sujeito aos eventos extremos. Portanto, o Saneamento é o núcleo desta estrutura que leva a integração destes componentes para a sustentabilidade do ambiente urbano, motivo pelo qual se configura como Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (United Nations, 2023).

No entanto, os problemas relacionados à urbanização são provocados por diferentes aspectos, dentre os quais a fragmentação da gestão institucional dos elementos integrantes da cidade, comum em países em desenvolvimento (Scott et al., 2019), e a falta de capacidade de efetivamente gerenciar o rápido crescimento destas áreas (Tucci, 2007). Por exemplo, o acúmulo de resíduos sólidos nas estruturas de drenagem reduz a sua capacidade hidráulica e poluem os mananciais, o esgoto contamina a drenagem ou a drenagem mistura o esgoto e prejudica o funcionamento das estações de tratamento (Vidal et al., 2020). Todos poluem as fontes de água, resultando em um ciclo de poluição urbana que transfere os impactos de montante para jusante em enchentes, qualidade da água e erosão e sedimentação.

O desenvolvimento sustentável é o conceito em que a pressão do desenvolvimento social, econômico, do uso e ocupação do solo, e do uso dos recursos naturais não comprometa o meio ambiente, de modo a manter um equilíbrio que o conserve para as futuras gerações (ASCE/UNESCO, 1998; International Institute for Sustainable Development, 2023). Neste sentido, a gestão destes componentes requer um planejamento urbano integrado, que inclua o saneamento básico e o meio ambiente, compondo a chamada Gestão Integrada de Águas Urbanas (GIAU), conforme apresentado na Figura 1. O GIAU é o mecanismo de planejamento que integra os serviços de saneamento e suas interações com o planejamento urbano (uso do solo), que é o principal ator de mudança na urbanização, os instrumentos institucionais de gestão e legislação, e a meta de qualidade de vida e meio ambiente. Esta gestão integrada pressupõe a integração dos serviços nas bacias urbanas da cidade, onde a bacia é o espaço integrador da prestação dos serviços da cidade.

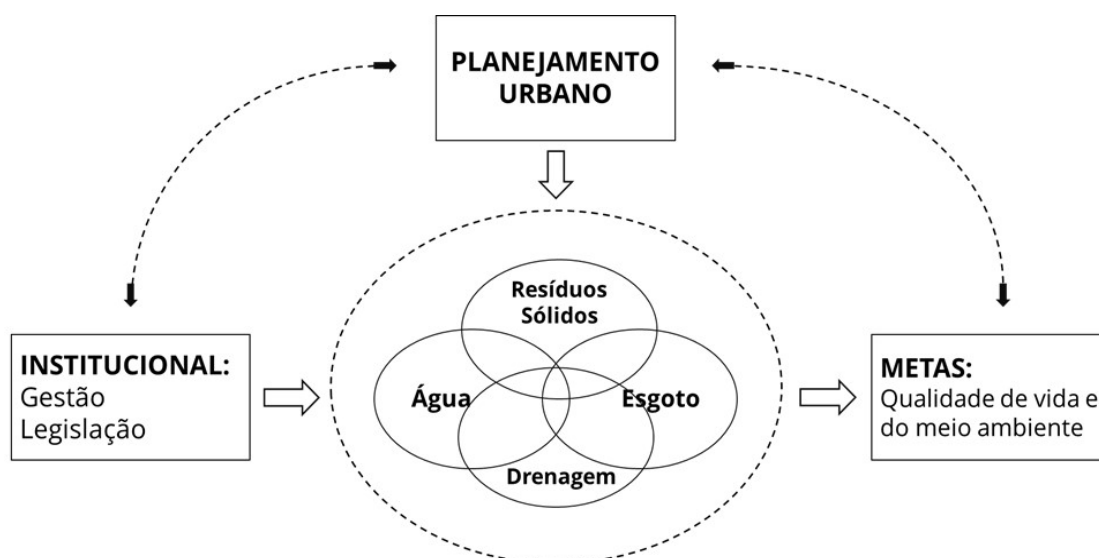


Figura 1. Gestão Integrada de Águas Urbanas. (Tucci, 2009).

## GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO SANEAMENTO NO BRASIL

Embora o uso e ocupação do solo e os recursos hídricos ainda não sejam compreendidos como elementos do mesmo espaço, as ações desenvolvidas no âmbito de uma política influenciam setores da outra política. Quando uma área (ou núcleo ou cidade) é ocupada, os impactos da cidade ocorrem sobre a sua própria área urbana (*impactos internos*) e são exportados para o sistema de rios da bacia hidrográfica (*impactos externos*). Esses impactos são resultantes das ações dentro da cidade, e são transferidas para o restante da bacia tais como enchentes, resíduos sólidos e contaminação da água por efluentes. Os impactos *externos* são controlados por padrões a serem atingidos, regulamentados por legislações ambiental e de recursos hídricos, em nível federal ou estadual.

No Brasil, os aspectos legais que envolvem a gestão das águas urbanas como componente dos recursos hídricos e saneamento são:

- Resolução 357 do CONAMA: estabelece os critérios de enquadramento dos rios como metas de qualidade da água (Brasil, 2005);
- Lei de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Art. 12): estabelece que estão sujeitos a outorga todas as ações que alterem de quantidade e qualidade da água, bem como o lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos (Brasil, 1997). Na regulação de recursos hídricos, o Comitê de Bacia deve estabelecer o enquadramento dos trechos de rios, de acordo com as prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Bacias Hidrográficas;
- Lei de Saneamento (Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 atualizada pela Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020): define que a gestão das cidades deve atender aos preceitos da Lei de Recursos Hídricos no seu Plano de Saneamento Básico. No art. 4º da referida lei, é estabelecido que “os recursos hídricos não integram os serviços públicos de saneamento básico”; contudo, em parágrafo único, verifica-se que “a utilização de recursos hídricos na prestação de serviços públicos de saneamento básico é sujeita a outorga de direito de uso, nos termos da lei de Recursos Hídricos, de seus regulamentos e das legislações estaduais” (Brasil, 2007, 2020).

Dada a estruturação legal brasileira, o espaço para a gestão das águas urbanas na cidade é apresentada na Tabela 1.

Os Planos de Bacia estabelecem as diretrizes para a gestão hídrica em nível regional ou estadual, e têm sido comumente desenvolvidos para bacias grandes. Neste cenário, o saneamento básico é responsável, por exemplo, pela retirada de volumes de água de mananciais para o abastecimento da população e pelo lançamento de efluentes nos recursos hídricos. Ainda, existem várias cidades que interferem umas nas outras, já que a bacia é a unidade de planejamento, e os aspectos socioambientais e a dinâmica hidrológica ultrapassam as barreiras político-administrativas (Silva et al., 2021; Bettencourt et al., 2021). O Plano da Bacia dificilmente poderá envolver todas as medidas em cada cidade, porém deve estabelecer os condicionantes *externos* às cidades, em relação à quantidade e qualidade de seus recursos hídricos – segundo art. 12 da Lei N 9.433 (Brasil, 1997) – limitando a transferência de impactos.

Para os impactos das ações da cidade internamente, a gestão é estabelecida por planos e medidas desenvolvidas dentro da cidade, através de legislação municipal ou distrital – e.g., Planos Diretores, Planos de Saneamento, Leis de Uso e Ocupação do Solo. Desta forma, cabe ao município a gestão dentro deste espaço, como titular dos serviços de saneamento (Brasil, 2007). A gestão do ambiente interno da cidade deve tratar as ações dentro da cidade para atender aos condicionantes *internos* e *externos*, previstos no Plano de Bacia para evitar os impactos. Contudo, os mecanismos de outorga previstos na legislação geralmente atuam sob o lançamento de efluentes (Brasil, 2005, 2011), sem incluir normativas para o controle das águas pluviais urbanas sobre os recursos hídricos, a exemplo do aumento da vazão ou para a poluição difusa devido à urbanização, ou seja, ignora os impactos das águas pluviais urbanas sobre os recursos hídricos. Neste sentido, o ideal é que os instrumentos legais e de planejamento do município promovam ações em seu território, bem como estejam articulados ao plano da bacia hidrográfica em que se insere. Estes condicionantes devem buscar minimizar os impactos da quantidade da água e melhorar a qualidade da água na cidade e para jusante (Carneiro et al., 2008; Pizella, 2015; Tucci, 2016).

**Tabela 1.** Espaço de Gestão das águas urbanas (adaptado de Tucci, 2007).

Espaço	Domínio	Gestores	Instrumento	Característica
Bacia Hidrográfica*	Estado ou Governo Federal	Comitê e Agências	Plano de Bacia	Gestão da quantidade e qualidade da água nos rios da bacia hidrográfica, sem transferirem impactos.
Cidade**	Cidade, DF ou Região Metropolitana	Cidade ou Distrito Federal	Plano de Saneamento Básico	Gestão de saneamento na cidade com controle dos impactos para jusante.

\*Bacias maiores (> 1.000 km<sup>2</sup>); \*\*área de abrangência da cidade e suas pequenas sub-bacias de macrodrenagem (< 50 km<sup>2</sup>). Os valores de área são indicativos.

## ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

A drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (DMAPU), como serviço do saneamento, é definida como o “conjunto das atividades, infraestrutura e instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes” (Brasil, 2020). No entanto, este conceito é limitado, uma vez que não incorpora a visão sobre um problema maior nas cidades, as inundações urbanas, que embora ocorram através processos hidrológicos distintos, os eventos de inundações têm sua gênese nas águas pluviais.

Existem dois tipos principais de inundações urbanas: inundação ribeirinha e na drenagem urbana (Tucci, 2007). A primeira compete a um processo natural dos rios, cuja vazão escoar no leito menor em períodos frequentes de vazões médias e de seca. Quando ocorrem períodos chuvosos e as vazões aumentam, a capacidade do leito menor não é suficiente e ocorrem inundações no leito maior, denominado de *Inundação ribeirinha*. Quando este rio de bacia de porte médio e grande cruza a cidade, os impactos ocorrem diretamente sobre a população que ocupou a área de risco, devido à ausência de regulamentação das áreas inundáveis (e.g., através de zoneamento) (Federal Emergency Management Agency, 2021; Larentis et al., 2020), fiscalização da mesma nestes espaços ou outras políticas públicas associadas (e.g., reassentamento). Exemplo de inundações ribeirinhas são aquelas que ocorreram em Manaus, pelas cheias do rio Amazonas, em 2022 (Espinoza et al., 2022) e aquelas que ocorreram no vale do Taquari - Rio Grande do Sul e vale do Itajaí - Santa Catarina, em 2023 (European Civil Protection and Humanitarian Operations, 2023).

As inundações na *drenagem urbana* ocorrem em pequenas bacias dentro da cidade, devido a alteração do uso do solo por impermeabilização, alteração da drenagem com condutos que aumenta a velocidade do escoamento e a vazão de cheia, erosão e sedimentação e qualidade da água devido a poluição das superfícies urbanas. Este impacto não é natural e é criado pelo desenvolvimento urbano, cujo resultado é a transferência do problema para áreas a jusante na bacia. Exemplos desta natureza são observados em diversas cidades brasileiras, e.g., Porto Alegre-RS, Belo Horizonte-MG.

Embora ocorram através processos hidrológicos distintos, os eventos de inundações têm sua gênese nas águas pluviais. Quando os impactos desses eventos são combinados em uma cidade, tendem a ser insustentável; portanto, devem ser tratados de maneira combinada. Exemplo desta situação são as inundações que ocorrem em São Paulo-SP e Recife-PE.

No Brasil a gestão das águas pluviais é subdividida em ações em gestão de inundações ribeirinhas, que atua em nível de bacia hidrográfica – regida pela Lei Nº 9.433/1997 – e gestão da drenagem urbana, que envolve os limites territoriais do município (ou regionalizados, se for o caso), seguindo as diretrizes da Lei Nº 11.445/2007 e Lei Nº 14.026/2020. Isto significa dois diferentes cenários para mitigar o problema das águas pluviais nas áreas urbanas.

Com a atualização da lei do Saneamento houve uma movimentação e planejamento por parte da ANA na elaboração de normas de referência para a regulação dos serviços do saneamento (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023), dentre eles a drenagem, em busca pela universalização do serviço. Contudo, é notório no Brasil que a drenagem não conseguiu evoluir de maneira proporcional aos demais elementos do saneamento, possuindo baixos índices de cobertura, planejamento (e gestão) e investimento (Santos et al., 2020; Mendes & Alves, 2022). Isso ocorre porque existe uma expectativa de que a universalização da drenagem deverá ocorrer da mesma forma que para os demais elementos do saneamento, através do aumento dos índices de cobertura; no entanto, para a drenagem o aumento da infraestrutura sem o devido controle apenas transfere para jusante o escoamento, sem garantias de que isso reduza os riscos de inundação em uma determinada bacia; neste sentido, o ideal é que *a meta de universalização desde componente seja a minimização dos impactos e que cubram toda a população que ocupa o espaço urbano da cidade, ou seja, a minimização da inundação para um determinado risco*. Esta prática é adotada em cidades dos Estados Unidos, que possui o controle e gestão de inundações ribeirinhas por entidades como a *Federal Emergency Management Agency - FEMA* e a *U. S. Army Corps of Engineers*, respectivamente, para ações em nível regional e o manejo de águas urbanas em nível local através das *Best Management Practices* (Environmental Protection Agency, 1993).

## PANORAMA DA GESTÃO E SERVIÇOS DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os cenários de gestão de águas pluviais ocorrem por uma combinação de gestão nacional (ou regional) para as inundações ribeirinhas, e local (cidade) para a drenagem urbana. A seguir são apresentados estes cenários.

### Inundações Ribeirinhas

**Impactos** - As inundações ribeirinhas são um processo natural presente na história da humanidade, como o relato do Dilúvio. Em Amarna, no Egito, Akenaton (1340 a.c.) escolheu a nova capital e planejou a ocupação das áreas de inundações do rio Nilo (Brier, 1998). Este é um exemplo de zoneamento de inundações que grande parte dos países não realiza mesmo 2.363 anos depois.

De 1970 a 2019 os desastres naturais equivaleram a 50% de todos os desastres, 45% de todas as fatalidades reportadas no período – 91% das quais ocorreram em países em desenvolvimento - e 74% das perdas econômicas. As inundações representam 44% e as perdas econômicas associadas a este tipo de desastre correspondem a 31% (World Meteorological Organization, 2021). Desde 1980, 4.588 inundações ocorreram em 172 países, resultando em mais de 250.000 mortes e mais de 1 trilhão de dólares em danos econômicos (Marsh McLennan, 2022). No Brasil, as inundações são o principal tipo de desastre natural. Entre 2000 e 2018, houve 65 inundações e 2.435 mortes, representando 88% das fatalidades decorrentes de desastres naturais (Monte, 2022). Nos últimos anos, exemplos de inundações ribeirinhas no Brasil foram: (i) inundação histórica do rio Amazonas em junho de 2021 (Espinoza et al., 2022); e (ii) na região metropolitana do Recife em maio de 2022 (Marengo et al., 2023).

Observa-se um crescimento dos desastres naturais desde a segunda metade do século XX, em parte associado ao crescimento demográfico e ao aumento da vulnerabilidade pela ocupação da área de risco. Por outro lado, considerando o crescimento da população, a tendência de mortes tem declinado com o tempo. Os prejuízos econômicos e sociais, no entanto, estão aumentando pela localização de população e atividades econômicas em áreas de risco. O furacão de 1926 na Flórida, por exemplo, que custou 1 bilhão de dólares na época, hoje custaria 188 bilhões de dólares. Ainda, salienta-se que os prejuízos nem sempre são suficientemente dimensionados, uma vez que os impactos não são somente materiais, de modo que devem ser consideradas: interrupção de negócios, degradação ambiental e saúde mental. A população urbana exposta à inundação chegará a 15% em 2050 (Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014), quando a população mundial será 70% urbana.

**Medidas de Controle** - As medidas de controle de inundação ribeirinhas podem ser estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial através de obras, como diques e barragens. Exemplo dessas estruturas são aquelas que compõem o Sistema de

Proteção contra Cheias – SPCC – existente em Porto Alegre-RS, que conta com mais de 40 km de diques e 23 Estações de Bombeamento (Porto Alegre, 2015). As medidas não-estruturais são aquelas em que não são utilizadas obras de engenharia, de modo que a população convive com a inundação e são adotadas medidas preventivas, a exemplo de sistemas de alerta de inundações, zoneamento de inundação, seguro contra inundações, e proteções individuais de propriedades e locais. Estas medidas não-estruturais são bastante difundidas nos Estados Unidos, através das leis, regulamentações e manuais da FEMA.

**Políticas de Gestão de Inundação Ribeirinha** - A gestão de inundação ribeirinha tem sido realizada por governos centrais ou regionais devido aos condicionantes econômicos e logísticos desta atuação e das medidas. As experiências de políticas nacionais sobre gestão das inundações ribeirinhas variam ao longo do tempo, e de acordo com o país e sua realidade político-institucional. Todavia, a maioria iniciou com políticas de medidas estruturais e alguns países tenderam a mudar para medidas não-estruturais em função dos custos envolvidos, que aumentaram muito no final do século XX e ao longo do século XXI. Exemplos desta prática foram:

- Estados Unidos, a partir da (i) Lei de Controle de Inundação nos anos de 1936 que resultou em centenas de reservatórios, diques e projetos de canalização (Arnold, 1988); seguido do (ii) Programa de Seguro contra Inundações no fim da década de 1960, encorajando e exigindo o seguro para enchentes, regulamentação do uso da terra, e proteção das novas construções para enchentes de 100 anos tempo de retorno (Federal Emergency Management Agency, 1997), e da (iii) Lei de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos em 1986, que permitiu o financiamento de medidas estruturais e não-estruturais de controle de inundações com compartilhamento de custos entre locais e Governo (United States Army Corps of Engineers, 1986).
- Na Holanda, 55% do território está sujeito à inundação. Logo após a 2ª Guerra Mundial, em 1953, uma tempestade assolou o território e, para contornar esta situação foram construídos e reforçados diques de proteção, seguidos de outros mecanismos hidráulicos de drenagem, através do Plano Delta (Orr et al., 2007). As obras foram desenvolvidas com baixo risco à população (1:1.250 anos nos rios e 1:10.000 anos na costa). Todavia, com o aumento da densidade populacional, tem-se previsto o aumento do escoamento dentro dos diques. Discussões mais recentes sobre esta gestão envolvem a preservação de espaços naturais, controle de vazão por amortecimento e preocupações sobre mudanças climáticas e planos emergenciais (Klijn et al., 2012; Burbeck et al., 2017);
- No Reino Unido a política de inundações é desenvolvida pelo Governo Central e as ações são descentralizadas. No passado foram desenvolvidas obras hidráulicas para defesa contra inundação, mas no presente a política voltada para medidas não estruturais como proteção individual, planejamento do uso do solo e seguro (Van den Hurk et al., 2014);
- A Alemanha sofreu importantes inundações em 1993, 1995, 2002 e em 2013, que representaram média de 7 bilhões de euros em impactos diretos (Thieken et al., 2016). Ao longo destes eventos a gestão de inundação evoluiu de um programa técnico de defesa contra inundação para uma gestão mais integrada com base em medidas não-estruturais (Hartmann & Albrecht, 2014). Atualmente para as áreas de risco médio e baixo é possível fazer seguro privado.

O histórico dos países citados – desenvolvidos – mostra que a política de gestão de inundação com medidas estruturais é pouco sustentável, se aplicada em todo o país, devido ao custo e ao universo de cenários de risco que podem ocorrer. O objetivo, neste caso, deve ser minimizar os impactos, reduzir o número de mortes, e diminuir a vulnerabilidade econômica e social da população ao longo do tempo. Logo, é necessária uma gestão de inundação ribeirinhas integrada, buscando reduzir os riscos e estar preparado para as emergências de um evento extraordinário. Neste processo, o governo central deve estabelecer políticas que levem a adoção medidas sustentáveis estruturais e não-estruturais, fornecendo suporte à redução de risco de enchentes.

No Brasil, a Constituição Federal de 1988 estabeleceu que *"compete à União planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e inundações"*. Até 1990, o extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) atendia parte desses problemas com obras de barragens, canalização e diques de proteção contra inundações. Exemplo dessas obras podem ser observados em cidades como Porto Alegre e Teresina, que tiveram diques de proteção contra inundação ribeirinha, e na bacia do rio Itajaí-Açu, com barragens de controle de enchentes (Tucci, 2007). Com o fechamento desta instituição, a Secretaria de Desenvolvimento Regional ficou com o pouco que restou para apoiar as cidades e, após várias reformas administrativas, passaram à

responsabilidade do Ministério da Integração Nacional, que coordena o Sistema Nacional de Defesa Civil, e mais recentemente o Ministério de Desenvolvimento Regional.

Entre as décadas de 70 e 90 foram preparados mapas de inundação de algumas cidades brasileiras como: (i) Estrela, no Rio Grande do Sul (Rezende & Tucci, 1979); (ii) imediações no rio Uruguai, após as enchentes de 1983 (Tucci e Simões Lopes, 1985 *apud* Tucci, 2007); (iii) imediações do rio Itajaí (Tucci e Krebs, 1986 *apud* Tucci, 2007); e (iv) União da Vitória e Porto União, no rio Iguaçu, na década de 1990 (Tucci e Villanueva, 1995 *apud* Tucci, 2007). Alguns desses estudos foram convertidos em regulamentações, através do zoneamento de áreas de inundações. No entanto, essa prática infelizmente não foi propagada no país para o controle de espaço de risco de inundação. Em 2000, a Lei Nº 9.984/2000 (Brasil, 2000), que criou a Agência Nacional de Águas, atribuiu a esta a função de “planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações, no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em articulação com o órgão central do Sistema Nacional de Defesa Civil, em apoio aos Estados e Municípios”.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos foi criado pela Lei Nº 9.433/1997 (Brasil, 1997). Entre os vários fundamentos contidos nesta lei, destaca-se no tocante às enchentes, que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” e “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades”. Entre os objetivos está “a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrente do uso inadequado dos recursos naturais”. Como instrumentos básicos, destacam-se os Planos de Recursos Hídricos.

Ao longo dos anos, após criação da Lei Nº 9.433, os Planos de Recursos Hídricos que procederam não fizeram nenhuma menção à estratégia sobre inundações. Entre 2007 e 2011 diversos problemas relacionados à desastres de origem natural ocorreram no Brasil, a exemplo de: (i) eventos de 2008 na região do vale do Itajaí, em Santa Catarina, em que 60 cidades foram afetadas e 1,5 milhão de famílias foram atingidas; (ii) as inundações nos estados de Alagoas e Pernambuco em junho de 2010, que afetaram 12 milhões de pessoas; e (iii) os eventos que ocorreram em 2011 na região Serrana do Rio de Janeiro, onde foram registradas 947 mortes. Dada a necessidade de aumento da capacidade da população na prevenção e alerta, surgiu o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN). Também surgiu o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), por meio de cooperação entre a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) e o Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil – Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC), cujo objetivo é qualificar e dar transparência à gestão de riscos e desastres no Brasil.

A Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012, instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), tornando-se um marco no enfrentamento a desastres, e ainda dispôs do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINDPEC) e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) (Brasil, 2012). No mesmo ano, o Governo Federal lançou o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais 2012-2014 com investimentos para atuar sobre inundações e deslizamentos, e falta de oferta de água. Este programa atuou na prevenção, por meio de sistema de alerta, e no planejamento de obras de controle em todo o país. A partir deste Plano, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) tem atuado na elaboração de Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, a partir das quais é possível identificar áreas suscetíveis a inundações. Ainda, diversos sistemas de alerta e monitoramento hidrológico de foram implantados, por meio do CEMADEN e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No mesmo ano, foi criado o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (Cenad), que por meio de mídias como serviços de SMS, TV por assinatura e Google Alerta, informa populações locais, gestores estaduais, municipais e instituições, dos riscos iminentes.

As ações mais recentes relacionadas com eventos extremos têm focado muito mais em secas, com medidas de ação para atuar sobre este extremo, principalmente atribuindo o conceito de Segurança Hídrica. Ainda, os investimentos estruturais geralmente acontecem sem avaliação da relação benefício x custo e com sistemas de alertas isolados. Sendo assim, observa-se a ausência de uma estratégia integrada para o problema. Verifica-se que, atualmente, as administrações estaduais, em geral, não estão preparadas técnica e financeiramente para planejar e controlar os impactos das enchentes, já que os recursos hídricos ainda são normalmente tratados de forma setorializada (Energia Elétrica, Abastecimento Urbano e Tratamento de Esgoto, Irrigação e Navegação), sem maior interação na administração e seu controle.

Na esfera municipal, as prefeituras foram pressionadas a estabelecerem Planos Diretores Urbanos pelo Estatuto das Cidades que, geralmente, não contemplam os aspectos de prevenção contra

a ocupação dos espaços de risco de enchentes, embora a legislação brasileira indique que os municípios devem ser responsáveis por identificar áreas de risco e vedar sua ocupação (Brasil, 2012). Neste sentido, os Planos Diretores comumente têm tratado apenas de aspectos de preservação ambiental do espaço, ignorando limitações de ocupação às áreas de risco de inundações.

### **Drenagem Urbana**

A gestão da drenagem pode ser realizada dentro de uma política nacional e transmitida para as municipalidades que atuam diretamente nos serviços. A seguir, são destacadas as políticas nacional e internacional identificadas e, na sequência, os mecanismos de gestão na cidade.

**Impactos** - Os impactos decorrentes da drenagem urbana se iniciam a partir da modificação do espaço natural de drenagem do terreno, a partir da urbanização. À medida que a área é ocupada e o ambiente é transformado, os efeitos das águas pluviais sobre a área urbana e a jusante podem causar diversos impactos, que são: (i) Redução da recarga subterrânea; (ii) Redução da qualidade da água pluvial; (iii) Erosão e sedimentação; e (iv) Aumento das vazões e inundações.

**Medidas de Controle** - Na drenagem urbana, as medidas de controle não-estruturais envolvem o controle do impacto das novas construções para evitar o volume do escoamento superficial e a vazão máxima aumente para áreas públicas. Além destas medidas, existem medidas que podem ser complementadas por incentivos econômicos como mercado de crédito de armazenamento e incentivos para infiltrações (Dougherty et al., 2016; Metropolitan Planning Council, 2019). Estas ações controlam a futura urbanização da cidade contra o aumento de vazão e de outros impactos.

As medidas de controle estrutural são planejadas por bacias hidrográficas urbanas. Dividindo as cidades em bacias de drenagem é possível preparar um plano que controle a inundação para um tempo de retorno selecionado para cada sub-bacia. Este controle deve prover amortecimento e/ou infiltração dos volumes produzindo. Exemplo destas soluções são reservatórios de amortecimento, infraestruturas verdes como valas e trincheiras de infiltração e biorretenção, soluções baseadas na natureza, entre outros (Fletcher et al., 2015). É possível desenvolver medidas integradas de águas urbanas que atuem nas bacias, trazendo soluções integradas de: urbanização com espaços públicos para a população e densificação eficiente para redução da infraestrutura de transporte, e infraestrutura de saneamento, como abastecimento, esgotamento e drenagem urbana dentro de uma visão de sustentabilidade ambiental e social.

**Políticas de Gestão de Drenagem Urbana** - As experiências de gestão da drenagem urbana possuem dois processos: (i) em nível da bacia, impulsionado pelo Estado ou Governo Central, que controle os impactos externos à cidade; e (ii) em nível local, impulsionado pelo município, que controle o impacto interno à cidade.

Na experiência internacional, em países como Estados Unidos e França, é comum haver controle externo à cidade por meio de programas federais. No tocante ao controle interno, é comum a adoção de medidas de controle para quantidade e qualidade da água. Muitos países europeus desenvolveram regulamentação específica para a drenagem quanto a: (i) não permitir a drenagem direta de áreas impermeáveis para a infraestrutura pluvial pública, sem passar por um plano ou área de infiltração; (ii) controlar a quantidade e a qualidade do excedente.

A drenagem urbana no Brasil até o final da década de 80 era baseada em obras de canais e condutos financiados pelos Estados e pela União, transferindo as enchentes dentro da cidade. Em São Paulo chegou-se a gastar cerca de US\$ 50 milhões.km<sup>-1</sup> (rios Tamanduateí e Tietê) de canal (macrodrenagem), e em Belo Horizonte da ordem de US\$ 25 milhões.km<sup>-1</sup> (Ribeirão Arrudas), com resultados desastrosos. Esta política era baseada simplesmente em resolver o problema de um trecho do rio, mas acabavam transferindo para jusante os impactos. Ainda, não havia prestadores de serviços municipais, mas secretarias estaduais que utilizavam recursos do Estados e do Governo Federal para estas obras. (Tucci, 2007; Canholi, 2015). O controle de inundações urbanas é então estabelecido através de medidas desenvolvidas dentro do município, através de legislação municipal e ações estruturais específicas.

No início da década de 90 em São Paulo foi construída a detenção do Pacaembu (chamada popularmente de Piscinão), mudando um paradigma na concepção de projetos em São Paulo, e fomentando o uso de sistemas de amortecimentos (Canholi, 2015). Contudo, este processo teve um sucesso limitado devido a magnitude dos problemas associados à ocupação desordenada de São Paulo e a necessidade de uma solução que integrasse o planejamento urbano. Na verdade, as detenções se tornaram áreas de contaminação pela ausência de esgotamento sanitário separador ou combinado,



mas com interceptação de esgotos, e serviços adequados de limpeza de resíduos sólidos. Isso ocorre de maneira análoga aos canais de macrodrenagem (Neves & Tucci, 2008; Henriques et al., 2021).

Em 2001, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas, em parceria com a Prefeitura de Porto Alegre, preparou o Plano Diretor de Drenagem Urbana (Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2001), visando a concepção de medidas estruturais em 27 bacias urbanas, em complemento aos sistemas de bombeamento do dique de proteção contra inundação ribeirinha no município. Este projeto foi pioneiro e marcante, pois na cidade existia uma das poucas entidades de gestão de drenagem urbana do Brasil, o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP), criado em 1971 para gerenciar as estações de bombeamento. À época também foi introduzido o decreto para controle dos impactos da drenagem urbana. Este decreto previu que toda nova propriedade - e aquelas que tiverem reformas - tenham a vazão de saída para a rede pública limitada à vazão de  $20,8 \text{ L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$  (Porto Alegre, 2014). Esta medida visa eliminar qualquer aumento da vazão de cheia decorrente dessas urbanizações. Enquanto isto, o plano de cada bacia foi estruturado para controlar a vazão máxima de tempo de retorno de 10 anos. Os Planos foram sendo elaborados ao longo dos anos e as obras implementadas de acordo com a disponibilidade de recursos. Abordagem similar foi desenvolvida para a Região Metropolitana de Curitiba para a entidade Estadual (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2002).

Planos de Drenagem foram preparados para outras cidades, mas considerando que as cidades não possuem instituição para a gestão dos serviços de drenagem, as implementações de obras e investimentos correlatos são limitados, da mesma forma que os serviços.

O principal problema da drenagem do Brasil é a falta de institucionalidade e de prestador de serviço (Colombelli, 2018). De acordo com a legislação nacional, a gestão da drenagem urbana no Brasil é de atribuição municipal e tem sido exercida isoladamente, sem compatibilidade com os municípios vizinhos que compartilham da mesma bacia. De acordo com o SNIS-AP (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2021b), 99,8% dos municípios brasileiros possui serviços de drenagem prestados pelo Poder Público (Administração Pública Direta ou Autarquia). No entanto, geralmente existe um setor dentro de uma secretaria de obra, ou similar, com reduzido quadro ou apenas um funcionário que responde pelas informações de drenagem. Certamente isto não pode ser considerado serviço. Esta situação é decorrente da falta de recuperação de custo de um setor que não cobra pela prestação dos serviços, inviabilizando sua sustentabilidade econômico-financeira (também prevista no art. 29 da Lei 14.026/2020). Nos Estados Unidos e Canadá, por exemplo, há o incentivo da criação de empresas prestadoras de serviço, as chamadas *stormwater utilities* (Campbell, 2022).

Os custos diretos da drenagem envolvem a aplicação de investimentos (*Capital Expenditure* – CAPEX) e de funcionamento (*Operational Expenditure* – OPEX). No Brasil, as despesas com a DMAPU são providas, de maneira geral, pelo município, sendo complementados por financiamentos do Governo Federal ou Estadual ou empréstimos. A prestação de serviços de drenagem envolve custos muito grandes, de modo que é necessária a existência de mecanismos financeiros que confirmem a sustentabilidade econômico-financeira do sistema, conforme já previsto pela Lei Nº 14.026/2020. Por exemplo, as *stormwater utilities*, mencionadas anteriormente, que utilizam de cobrança pelos serviços de drenagem com base na área impermeável do lote (Campbell, 2022). É necessário que o sistema possua uma receita própria que permita cobrir as despesas mensais que envolvam o funcionamento da gestão do sistema e sua operação e manutenção, incluídos demais custos de reparos dentro da vida útil, estabelecendo uma recuperação de custo. Para os demais custos, relacionados à investimentos, poderão ter fontes distintas de financiamentos.

A partir do exposto, as limitações decorrentes da deficiência de gestão desencadeiam uma série de problemas, de modo que dentro da estrutura de gestão da drenagem urbana devem existir três componentes:

- Plano Diretor de Drenagem, que controla os impactos existentes por medidas estruturais;
- O controle do impacto da urbanização futura por decreto, lei ou resolução;
- Fortalecimento da prestação de serviço, com recuperação de custo.

## ESTUDOS DE CASO

Como base para entendimento da drenagem no Brasil, foram selecionados 9 (nove) municípios brasileiros como estudos de caso (Figura 2). A seleção dos municípios foi realizada de tal modo que fossem representativos da realidade brasileira em manejo de águas pluviais. As condições adotadas

foram relacionadas à geografia, condições climáticas, urbanas e socioculturais encontradas no país. Considerando as premissas apresentadas, os municípios adotados foram:

- 1 (um) município com população inferior à 60 mil habitantes: Taquara – RS;
- 1 (um) município com população entre 100 mil e 500 mil de habitantes: Santos – SP;
- 2 (dois) municípios com população entre 500 mil e 1 milhão de habitantes: Santo André – SP, e Campo Grande – MS;
- 5 (cinco) Municípios com população acima de 1 milhão de habitantes: Porto Alegre – Rio Grande do Sul, Brasília – DF, Belo Horizonte – MG, Recife – PE, e Manaus – AM.

As informações utilizadas neste artigo foram baseadas em dados obtidos a partir da base públicas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), ano de referência 2020, bem como documentos técnicos, legislações e páginas oficiais do governo municipal. Para alguns municípios foi possível obter dados primários por parte de departamentos municipais, entre os meses de setembro e novembro de 2022, a saber: (i) Campo Grande (Secretaria Municipal de Infraestrutura e Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente); (ii) Manaus (Secretaria Municipal de Infraestrutura); (iii) Porto Alegre (Extinto Departamento de Esgotos Pluviais); (iv) Recife (Divisão de Drenagem – Secretaria Municipal); e (v) Santos (Programa Santos Novos Tempos da Zona Noroeste).



Figura 2. Municípios avaliados neste estudo.

### Avaliação dos Municípios

A estruturação dos estudos de caso foi realizada com base em temáticas que foram desde a caracterização do município e síntese do seu desenvolvimento urbano, perpassando por questões de saneamento básico, como um todo, e dando maior ênfase à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

A expansão urbana e a drenagem fazem com que o aumento de áreas impermeáveis aumente o escoamento das bacias destas áreas. Considerando que em muitas cidades a expansão ocorre de jusante para montante, já que a população ocupa as áreas mais baixas; primeiro, devido a facilidade, e com o tempo cresce para montante. Assim, numa bacia, a vazão aumenta para jusante neste processo, atingindo a população de jusante, pois em muitas cidades não há controle do escoamento para novas construções. Estes impactos são também de aumento de erosão e sedimentos e deterioração da qualidade da água pluvial.

A efetiva gestão da drenagem ocorre com a implantação eficiente dos seguintes instrumentos na cidade, a saber:

- Regulação para controle da drenagem para evitar danos à medida que a cidade cresce (controle do futuro) – detalhes desde controle podem ser verificados em Tucci (2016);

- Plano de drenagem urbana que atue com investimentos em medidas estruturais para controlar os impactos existentes na drenagem, com planos por sub-bacia urbana, a exemplo do que foi realizado no município de Porto Alegre;
- Zoneamento de inundação ribeirinha introduzido no Plano Diretor Urbano para minimizar os impactos deste tipo de inundação;
- Prestador de Serviço de Drenagem Urbana sustentável econômica e ambientalmente.

Neste sentido, a avaliação dos municípios baseou-se nesses aspectos estruturantes para a gestão da drenagem dentro da cidade. Na Tabela 2 é apresentada uma síntese obtida sobre os municípios avaliados. Esta síntese é apenas um panorama, não é uma avaliação de performance.

**Tabela 2.** Síntese das informações sobre drenagem e manejo de águas pluviais urbanas para os municípios selecionados.

Informações	Municípios avaliados								
	Belo Horizonte	Brasília	Campo Grande	Manaus	Porto Alegre	Recife	Santo André	Santos	Taquara
Pop. Urbana (10 <sup>6</sup> hab.) <sup>1</sup>	2,52	2,95	0,89	2,21	1,49	1,65	0,72	0,43	0,05
Densidade Urbana (hab.km <sup>-2</sup> ) <sup>2</sup>	7.637	2.437	2.443	4.505	3.276	7.569	4.104	9.115	816,82
Existe Plano Diretor Urbano?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Existe Plano Municipal de Saneamento Básico? <sup>3</sup>	Sim	Sim	Sim	Parcial	Sim	Sim	Sim	Sim	Parcial
Existe Plano Diretor de Drenagem?	Sim	Sim	Sim	Não*	Sim	Não*	Sim	Não	Não
Possui Prestador de Serviço de Drenagem?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possui Entidade Reguladora de Drenagem?	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Adequada formulação de controle <sup>4</sup>	Ok	Ok	Ok	Não possui	Ok	Não**	Não**	Não**	Ok
Possui cadastro técnico da drenagem?	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Possui cobrança de prestação de serviços?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
Problemas de Inundações Ribeirinhas?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Despesas em drenagem no município (10 <sup>6</sup> R\$) <sup>5</sup>	259,24	333,26	40,55	3,13	71,49	26,21	34,45	8,08	0,72
Relação Despesas Totais em drenagem e população urbana (R\$/hab.)	103,09	114,22	46,16	1,45	48,03	15,96	48,00	18,65	15,16
Despesas em drenagem (OPEX) no município (10 <sup>6</sup> R\$) <sup>5</sup>	86,18	210,25	25,14	3,13	37,43	23,38	34,45	8,08	0,55
Relação Despesas em drenagem (OPEX) e população urbana (R\$/hab.)	34,27	72,09	28,62	1,45	25,22	14,23	48,00	18,65	11,64

<sup>1</sup> População Urbana no ano-referência 2020. Fonte: SNIS-AP (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2024).

<sup>2</sup> Densidade populacional urbana no ano-referência 2020. Fonte: SNIS-AP (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2024).

<sup>3</sup> Será indicado "Sim" caso haja consideração pelos 4 (quatro) elementos do saneamento básico. Caso um deles não esteja incluso, será considerado "Parcial".

<sup>4</sup> Será indicado "Não possui" para os municípios que não possuírem controle do escoamento.

<sup>5</sup> Este indicador foi obtido junto às informações da série histórica do SNIS-AP (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2024), considerando a média entre os anos de 2017 e 2020. Para os municípios em que não havia dados completos de despesas, adotou-se o ano-referência 2020.

\* Para estes municípios as informações obtidas indicam que há um plano desenvolvido, entretanto ainda não foi aprovado por lei.

\*\* Este indicador informa se a equação proposta para regular o controle da urbanização está Adequada "OK", Inadequada "Não", ou Não possui formulação.

## Planos

No tocante ao planejamento urbano, todos os municípios analisados possuem Planos Diretores. Em relação ao saneamento, 2 (dois) dos 9 (nove) municípios analisados ainda não possui Planos Municipais de Saneamento Básico integrando os 4 (quatro) elementos.

Para a drenagem, observou-se que o Plano Diretor de Drenagem (PDDrU) não é um instrumento presente em todos os municípios, embora sua importância no conhecimento das necessidades e

priorização de metas geralmente seja destacado nas políticas de desenvolvimento urbano do Plano Diretor Municipal. Para Manaus, Recife, Taquara e Santos não se identificou PDDrU.

Segundo Tucci (2007), um PDDrU deve contemplar: (i) Política de Gestão; (ii) Medidas de controle por bacia de drenagem urbana; (iii) Regulamentação do Controle da Drenagem; e (iv) Programas e Planos de Ações. No entanto, observou-se que mesmo para os municípios que contém PDDrU, não é observada uma estruturação adequada para atuar sobre os locais de inundações. Em Belo Horizonte, por exemplo, o histórico do PDDrU (Belo Horizonte, 2022) indica que as medidas foram adotadas sem o devido planejamento por unidade de bacia hidrográfica, o que provavelmente limitou as tomadas de decisão e prioridades do município. Neste sentido, apenas em Porto Alegre se observou avanços em relação ao planejamento e plano de metas (Porto Alegre, 2015).

Para os municípios localizados às margens de grandes rios, em que geralmente não há controle de ocupação, a população ocupa a área de inundação dos rios, tornando-se suscetível aos impactos dos eventos de cheias dos rios. Esse é um caso típico para a cidade de Manaus, cujas cheias do rio Negro tendem a impactar o centro da cidade e outras zonas ribeirinhas. Para todos os estudos de caso, mesmo aqueles que possuíam diretrizes mínimas de ocupação na época do estabelecimento do município, como Campo Grande, não conseguiram acompanhar o desenvolvimento urbano em termos de infraestrutura básica e prestação de serviços de saneamento básico.

### **Controle da Drenagem**

No grupo de cidades analisadas, poucas possuem controle do aumento do escoamento na drenagem, como mostra a Tabela 2. Controlando na origem este impacto (regulamentação do controle da drenagem a partir do controle de novas construções) o custo é do dono do terreno, enquanto sem o controle, o custo do controle é transferido para o município em obras, que são pagos por todos os contribuintes ou pagos em prejuízos pela população estabelecida a jusante. Portanto, para evitar o aumento das inundações na drenagem é essencial desenvolver este tipo de controle nas cidades brasileiras.

Algumas cidades como Recife, Santo André e Santos possuem este tipo de regulamentação (Recife, 2015; Santo André, 2016; Santos, 2012). Em relação ao volume de controle, o pré-dimensionamento estima um volume de amortecimento de até 150 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, 90 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 90 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para áreas totalmente impermeabilizadas. No entanto, a formulação e a aplicação destas estimativas não são adequadas e tendem a subestimar os volumes necessários ao controle, da ordem de 450 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> em Porto Alegre (2014).

Porto Alegre foi precursora no Plano de Drenagem estruturado por bacias e com investimentos definidos por bacia, com cadastro de toda a rede de drenagem e legislação para controle do aumento da vazão na drenagem desde 2002. Brasília e Campo Grande também possui este tipo de controle, que é relativamente comum em Planos Diretores de Drenagem ou Planos Diretores Urbanos (Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, 2011; Campo Grande, 2022). A regulamentação do controle do impacto da urbanização é essencial para permitir que o órgão gestor avalie e fiscalize os projetos, e possa cobrar dos empreendimentos.

Além do aumento do escoamento a urbanização intensifica a poluição difusa, sendo esta direcionada aos rios e arroios urbanos, e pode possuir cargas de poluentes que superam àquelas encontradas em esgotos, podendo comprometer mananciais e impactar na disponibilidade hídrica dos municípios. Este é um problema de saneamento que deve ser contemplado pela drenagem urbana. Neste sentido, dos municípios avaliados apenas Brasília se destaca, por possuir controle da poluição difusa regulamentada e associada ao controle do aumento do escoamento, por meio da implantação de bacias de retenção (Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, 2011).

### **Inundações Ribeirinhas**

Para os municípios que sofrem com inundações ribeirinhas como consequência da sazonalidade das cheias dos rios, e.g., Manaus e Recife, não foram identificadas questões de zoneamento de áreas de inundação integrado ao Plano Diretor da cidade para evitar ocupação de área de risco. O município geralmente só age na mitigação dos impactos e na assistência após evento. No caso de medidas estruturais o custo é alto e apenas Porto Alegre possui um sistema de proteção contra cheias, embora não possua zoneamento para as áreas que não estão protegidas (Porto Alegre, 2015). Neste sentido, a delimitação das áreas atingidas por inundações e posterior zoneamento é um objeto essencial a ser contemplado nos municípios que sofrem esta problemática. Este objeto também deve ser utilizado pelo município para evitar ocupação dessas áreas e realocação da população inserida.

## **Gestão de Drenagem Urbana**

A gestão da drenagem urbana em nível local necessita de um prestador de serviço, da regulamentação do controle do aumento da vazão para novas construções e o PDDrU para controlar os impactos existentes. A avaliação aqui apresentada examina a existência destas condições na cidade e a efetividade dos investimentos por meios dos recursos em operação e manutenção, já que os investimentos geralmente são obtidos por meio de fundos federais.

O município é o titular dos serviços de drenagem, e a prestação dos serviços geralmente está vinculada a alguma secretaria municipal. É comum que esse vínculo ocorra com a Secretaria de Infraestrutura ou de Obras, entretanto, essa prestação de serviços não ocorre direcionada à drenagem. Em Brasília por exemplo, o prestador de serviços é uma Autarquia que atua não somente nos serviços de drenagem, mas em infraestrutura municipal (NOVACAP) (Brasil, 2008); em Porto Alegre, o prestador de serviços também presta serviços de água e esgoto (Porto Alegre, 2015). O município de Porto Alegre possuía um prestador de serviços, o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP), que fora extinto. Santos, por outro lado, vê a criação deste departamento como meta de curto prazo, segundo seu Plano Municipal de Saneamento Básico (Santos, 2021).

Um dos principais problemas dos municípios estudados é a ausência de sustentabilidade econômico-financeira da prestação de serviços de drenagem. Geralmente o município arca com as despesas de drenagem através do seu orçamento geral. Dos municípios avaliados, apenas Santo André possui taxa específica de drenagem, mesmo sendo indicado que as receitas não são suficientes para a prestação de serviços. Os valores de gastos em drenagem variam anualmente de R\$1,45 por habitante em Manaus a R\$ 116,2 por habitante em Brasília. As cidades de Santos, Recife e Taquara ficam na faixa de R\$ 15 a 19 por habitante; Porto Alegre, Santo André e Campo Grande ficam entre R\$ 33 e 48 por habitante; e Belo Horizonte R\$ 103 por habitante. Em análise às despesas em prestação de serviços e investimentos das cidades analisadas, observa-se que os maiores desembolsos para prestação de serviços ocorrem em Belo Horizonte e Brasília. Para os demais municípios, salienta-se um valor ínfimo aplicado à prestação de serviços e investimentos no sistema, evidenciando uma baixa prioridade à drenagem por parte dos municípios.

Em relação às despesas exclusivamente com serviços, operação e manutenção – OPEX, os valores variam entre R\$ 1,45 por habitante em Manaus, e R\$ 72,09 por habitante em Brasília. Considerando, em média, 3 pessoas por unidade habitacional, o valor anual pago por unidade seria de R\$ 4,35 por unidade em Manaus, e R\$ 216,27 por unidade em Brasília. A estimativa média paga nos Estados Unidos por unidade por mês é de US\$ 6,01 (Campbell, 2022) e por ano US\$ 72,00 por unidade, configurando cerca de R\$ 374,4 por unidade no Brasil (adotando-se US\$ 1 igual a R\$ 5,20). Considerando todas as despesas, os valores brasileiros ficam em torno de US\$ 0,84 em Manaus e US\$ 67,05 em Brasília, já os custos exclusivamente com serviços variam entre US\$ 0,28 em Manaus e US\$ 13,86 em Brasília. A média de custos de serviços OPEX para os municípios estudados corresponde a R\$ 28,24 por habitante, R\$ 84,72 por unidade e US\$ 16,29 por unidade ao ano. Estes valores são preponderantemente inferiores ao valor médio americano. Ainda, é importante ressaltar a ausência dos municípios no conhecimento das suas verdadeiras necessidades e custos a elas associados, tendo em vista que a manutenção não é lograda em sua totalidade, é comum os municípios operarem o sistema de maneira corretiva e não preventiva.

Nenhuma das cidades avaliadas possuía alguma política que viabilizasse a regionalização dos serviços de drenagem; na realidade, o município de Santos é o único que menciona uma possível estruturação conjunta com municípios vizinhas, mas isto ainda é tido como objetivo de médio prazo.

## **CONCLUSÕES**

Este trabalho teve como objetivo produzir um diagnóstico acerca dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Brasil, trazendo indicações sobre o que se observa no mundo acerca do tema. Para tal, foram discutidos temas acerca da gestão de inundações, do tipo ribeirinhas ou na drenagem urbana, identificando como ambos os temas são tratados e como é dada sua gestão, nacional e internacionalmente. As informações levantadas indicam que a gestão de inundações no Brasil é incipiente, seja em nível nacional ou em nível local. A gestão deve ser realizada com base no desenvolvimento sustentável e o financiamento.

A partir dos estudos de caso aqui analisados, diversos aspectos sobre os problemas e gestão das cidades na drenagem urbana se destacaram. Em cidades pequenas (< 100.000 habitantes) os problemas de inundações tendem a ser menos graves quanto a inundação na drenagem, devido à baixa densidade e espaços urbanos que permitem o controle dos impactos a custos menores pelo uso de

amortecimento, além de valores inferiores de impactos econômicos. Por outro lado, nas cidades maiores e mais densas (> 1.000.000 habitantes) os problemas se agravaram com o tempo, devido ao aumento do escoamento pela urbanização e existem poucos espaços para amortecimento, o que aumenta o custo de medidas estruturais.

Considerando-se os municípios avaliados com população superior a 1 milhão de habitantes, observa-se que aqueles situados nas regiões Norte e Nordeste (e.g., Manaus e Recife, respectivamente) ainda tem muito o que avançar em termos de gestão e planejamento. Esses municípios possuem recorrentes problemas de inundações ribeirinhas e decorrentes da urbanização, entretanto, pouco avançaram na mitigação desses problemas. Primeiro, nenhum desses municípios possuem Plano Diretor de Drenagem aprovado e regulamentado por lei. Segundo, nenhum desses municípios possuem adequada formulação de controle do escoamento, pois apenas reaplicam metodologias provenientes de outros municípios sem considerar as perspectivas locais. Terceiro, pouco se sabe acerca do cadastro de drenagem dos municípios. Ainda, apresentam poucas despesas em drenagem, se comparados a outros municípios de mesmo porte. Por outro lado, os municípios situados nas demais regiões (e.g., Belo Horizonte, Brasília e Porto Alegre) já se mostram bem mais estruturados em relação à drenagem, ainda que necessitem de melhorias. Essa mesma tendência é observada de maneira geral pelo SNIS-AP (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2021b) em avaliação aos municípios brasileiros.

A maioria das cidades analisadas não possuem um Plano de Controle de medidas estruturais da cidade para minimizar as enchentes e nem mesmo ideia de seu custo. Além disso, não possuem regulação sobre o aumento do escoamento pela urbanização, portanto um problema crescente sem abordagem adequada.

No tocante à prestação de serviços, é necessário que o prestador do serviço disponha das condições mínimas necessárias para atuar, o que inclui: equipe técnica qualificada, capacitação e treinamento, recursos, entre outros. Ainda, que haja condições financeiras que permitam a execução dos serviços, para manutenção das condições de funcionamento, e de investimentos, para melhorias. A prestação de serviço existente atualmente nas cidades é muito deficiente por não compreender de forma adequada como chegar à drenagem sustentável econômica e ambiental, e seus instrumentos. Essas condições podem ser fornecidas a partir da implantação de uma cobrança específica para a drenagem, conforme já previsto na legislação.

Por se tratar de um país de dimensões continentais, devem ser consideradas as diferenças climáticas, topográficas, sociais, culturais, econômico-financeiras, e urbanísticas, das diferentes regiões, para estabelecimento de um modelo de gestão que contemple todos esses aspectos. Neste sentido, proporcionar orientações a nível nacional, com participação dos Estados, pode permitir a construção local da gestão da drenagem, melhorando a institucionalidade, prestação de serviços e outras normativas, visando a universalização deste serviço.

## AGRADECIMENTOS

O conteúdo deste artigo foi desenvolvido pela Rhama Analysis no âmbito do Projeto “Identificação das necessidades de regulação em Drenagem e Manejo de Águas Pluviais e proposição de plano de ações para sua implementação”, de propriedade do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) para a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

“Copyright © 2023. Banco Interamericano de Desenvolvimento (“BID”). As opiniões expressadas nesta obra são exclusivamente dos autores e não necessariamente refletem o ponto de vista do BID, de sua Diretoria Executiva, nem dos países que representa.”

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2023). *Agenda Regulatória*. Recuperado em 22 de março de 2023, de [www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/governanca-regulatoria/agenda-regulatoria](http://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/governanca-regulatoria/agenda-regulatoria)
- Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal – ADASA. (2011). Resolução nº 9, de 08 de abril de 2011. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Arnold, J. L. (1988). *The evolution of the 1936 Flood Control Act*. Office of History, United States Army Corps of Engineers. Recuperado em 10 de dezembro de 2023, de [https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerPamphlets/EP\\_870-1-29.pdf](https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerPamphlets/EP_870-1-29.pdf)

- ASCE/UNESCO. (1998). *Sustainable criteria for water resource systems*. Cambridge University Press.
- Belo Horizonte. Prefeitura de Belo Horizonte – PBH. (2022). *Instrução técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem*. Belo Horizonte (Cap. 1, 42 p.). Recuperado em 20 de dezembro de 2023, de [https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/Cap%C3%ADtulo1\\_Drenagem%20Urbana%20em%20BH.pdf](https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/Cap%C3%ADtulo1_Drenagem%20Urbana%20em%20BH.pdf)
- Bettencourt, P., Fulgêncio, C., Grade, M., & Wasserman, J. C. (2021). A comparison between the European and the Brazilian models for management and diagnosis of river basins. *Water Policy*, 21(1), 58-76. <http://dx.doi.org/10.2166/wp.2021.204>
- Brasil. (1997). Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. (2000). Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. (2005). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. (2007). Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. (2008). Lei nº 4.285, de 26 de dezembro de 2008. Reestrutura a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA/DF. Dispõe sobre recursos hídricos e serviços públicos no Distrito Federal e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2011). Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. (2012). Presidência da República. Casa Civil. Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema 271 Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. (2020). Presidência da República. Secretaria-Geral. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei Nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei Nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brier, B. (1998). *O assassinato de Tutancâmon* (235 p.). Jorge Zahar Editor.
- Burbeck, P., Kreibich, H., Penning-Roswell, E. C., Botzen, W. J. W., Moel, H., & Klijn, F. (2017). Explaining differences in flood management approaches in Europe and USA – comparative analysis. *Journal of Flood Risk Management*, 10, 436-445. <http://dx.doi.org/10.1111/jfr3.12151>
- Campbell, W. (2022). *The Western Kentucky University Stormwater Utility Survey 2022*. Bowling Green: Western Kentucky University. Recuperado em 10 de janeiro de 2024, de [https://digitalcommons.wku.edu/seas\\_faculty\\_pubs/6/](https://digitalcommons.wku.edu/seas_faculty_pubs/6/).

- Campo Grande. (2022). Lei nº 6.914, de 5 de setembro de 2022. Regulamenta a aplicação do Índice de Relevância Ambiental (IA) no Município de Campo Grande-MS. Campo Grande.
- Canholi, A. P. (2015). *Drenagem urbana e controle de enchentes* (2ª ed., 384 p.). São Paulo: Oficina de Textos.
- Carneiro, P. R. F., Cardoso, A. L., & Azevedo, J. P. S. (2008). O planejamento do uso do solo urbano e a gestão das bacias hidrográficas: o caso da bacia dos rios Iguaçu/Sarapuí na Baixada Fluminense. *Cadernos Metrópole*, 19, 165-190.
- Colombelli, K. (2018). *Serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas: avaliação do contexto brasileiro e da adaptabilidade de práticas norte-americanas para a proposição de melhorias institucionais e financeiras*. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Dougherty, S., Hammner, R., & Valderrama, A. (2016). *How to: Stormwater Credit Trading Programs*. NRDC. Recuperado em 10 de julho 2023, de <https://www.nrdc.org/sites/default/files/stormwater-credit-trading-programs-ib.pdf>
- Environmental Protection Agency – EPA. (1993). *Guidance Manual for Developing Best Management Practices (BMP)*. Recuperado em 21 de dezembro de 2023, de <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owm0274.pdf>
- Espinoza, J.-C., Marengo, J. A., Schongart, J., & Jimenes, J. C. (2022). The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: atmospheric features in the context of the intensification of floods. *Weather and Climate Extremes*, 35, 100406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2021.100406>
- European Civil Protection and Humanitarian Operations - ECHO. (2023). *Brazil - Severe weather and floods (Civil Defense Santa Catarina, INMET, media) (ECHO Daily Flash of 12 October 2023)*. Recuperado em 15 de dezembro de 2023, de <https://reliefweb.int/report/brazil/brazil-severe-weather-and-floods-civil-defense-santa-catarina-inmet-media-echo-daily-flash-12-october-2023>
- Federal Emergency Management Agency – FEMA. (1997). *The National Flood Insurance Act of 1968, and The Flood Disaster Protection Act of 1973, as amended*. Recuperado em 10 de dezembro de 2023, de <https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/national-flood-insurance-act-1968.pdf>
- Federal Emergency Management Agency – FEMA. (2021). *Zoning Factors for Placing a FEMA Temporary Housing Unit*. Recuperado em 10 de dezembro de 2023, de <https://www.fema.gov/fact-sheet/zoning-factors-placing-fema-temporary-housing-unit>
- 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, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Hartmann, T., & Albrecht, J. (2014). From flood protection to flood risk management: condition-based and performance-based regulations in German water law. *Journal of Environmental Law*, 26(2), 243-268. <http://dx.doi.org/10.1093/jel/equ015>
- Henriques, J. A., Oliveira, R., Coura, M. A., Libânio, M., & Baptista, M. B. (2021). Água de drenagem ou esgoto sanitário? Uma análise do sistema de macrodrenagem em cidade de médio porte na Região Nordeste. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 26(5), 935-943. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190223>
- Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH. (2001). *Plano Diretor de Drenagem de Porto Alegre* (3 vol.). Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH)/UFRGS e Departamento de Esgotos Pluviais/DEP.
- International Institute for Sustainable Development – IISD. (2023). *Sustainable Development*. Recuperado em 10 de dezembro de 2023, de <https://www.iisd.org/mission-and-goals/sustainable-development#:~:text=Sustainable%20development%20has%20been%20defined,to%20meet%20their%20own%20needs.%22>
- Klijn, F., De Bruijn, K. M., Knoop, J., & Kwadijk, J. (2012). Assessment of the Netherlands' flood risk management policy under global change. *Ambio*, 41(2), 180-192. <https://doi.org/10.1007%2Fs13280-011-0193-x>
- Larentis, D. G., Nogare, M., Tucci, C. E. M., & Pohlmann, P. (2020). Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17, e13. <http://dx.doi.org/10.21168/regav.17e13>
- Marengo, J. A., Alcantara, E., Cunha, A. P., Seluchi, M., Nobre, C. A., Dolif, G., Gonçalves, D., Dias, M. A., Cuartas, L. A., Bender, F., Ramos, A. M., Mantovani, J. R., Alvalá, R. C., & Moraes, O. L. (2023). Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: causes, impacts, and disaster preparedness. *Weather and Climate Extremes*, 39, 100545. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2022.100545>
- Marsh McLennan. (2022). *Sunk costs: The socioeconomic impacts of flooding*. Recuperado em 18 de abril de 2023, de [https://www.marshmcclennan.com/content/dam/mmc-web/insights/publications/2021/june/Sunk-Cost\\_Socioeconomic-impacts-of-flooding\\_vF.pdf](https://www.marshmcclennan.com/content/dam/mmc-web/insights/publications/2021/june/Sunk-Cost_Socioeconomic-impacts-of-flooding_vF.pdf)



- Mendes, A. T., & Alves, C. M. A. (2022). Universalização do saneamento básico no Brasil: uma avaliação da drenagem urbana enquanto componente marginal. In *Anais do XIV Encontro Nacional de Águas Urbanas*. Brasília – DF.
- Metropolitan Planning Council – Metroplanning. (2019). *Stormwater Credit Trading: Lessons from Washington D.C. Chicago*. Recuperado em 10 de janeiro de 2024, de <https://www.metroplanning.org/news/8671/Stormwater-Credit-Trading-Lessons-from-Washington-D-C>.
- Monte, B. E. O. (2022). *CRBi: um índice de risco de inundações desenvolvido para municípios brasileiros* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Recuperado em 10 de janeiro de 2024, de <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/239034/001141503.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Netherlands Environmental Assessment Agency – PBL. (2014). *Towards a world of cities in 2050 – an outlook on water-related challenges*. Background report to the UN-Habitat Global Report (75 p.). Recuperado em 10 de agosto de 2023, de [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/PBL\\_2014\\_Towards\\_a\\_world\\_of\\_cities\\_in\\_2050\\_1325\\_0\\_0.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/PBL_2014_Towards_a_world_of_cities_in_2050_1325_0_0.pdf)
- Neves, M. G. P. P., & Tucci, C. E. M. (2008). Resíduos sólidos na drenagem urbana: estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 13(4), 43-53. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v13n4.p43-53>
- Orr, B., Stodghill, A., & Candu, L. (2007). *The Dutch experience in flood management: a history of institutional learning*. Case study prepared for Enhancing Urban Safety and Security: Global Report on Human Settlements 2007. Recuperado em 12 de dezembro de 2023, de <https://unhabitat.org/sites/default/files/2008/07/GRHS.2007.CaseStudy.Netherlands.pdf>
- Pizella, D. (2015). A relação entre planos diretores municipais e planos de bacias hidrográficas na gestão hídrica. *Ambiente & Água*, 10(3), 635-645. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1394>
- Porto Alegre. (2014). Decreto nº 18.611, de 09 de abril de 2014. Regulamenta o controle da drenagem urbana e revoga os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do decreto nº 14.786, de 30 de dezembro de 2004 - caderno de encargos do DEP - e o decreto nº 15.371, de 17 de novembro de 2006. Porto Alegre.
- Porto Alegre. Departamento Municipal de Água e Esgoto – DMAE. (2015, dezembro). *Plano Municipal de Saneamento Básico. v. I: Diagnóstico*. Porto Alegre: Rio Grande do Sul. Recuperado em 17 de dezembro de 2023, de [https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu\\_doc/sites/dmae/01\\_PMSB\\_Diagn%C3%B3stico\\_web.pdf](https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/sites/dmae/01_PMSB_Diagn%C3%B3stico_web.pdf)
- Recife. (2015). Lei nº 18.112, de 12 de janeiro de 2015. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. Recife.
- Rezende, B. S., & Tucci, C. E. M. (1979). *Análise hidráulica e hidrológica dos problemas de inundação urbana na cidade de Estrela, RS. Relatório Técnico e de Pesquisa*. IPH/UFRGS. Recuperado em 8 de dezembro de 2023, de <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/266361>
- Santo André. (2016). Lei nº 9.924, de 21 de dezembro de 2016. Dispõe sobre a Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo no Município de Santo André, e dá outras providências. Santo André.
- Santos, G. R., Kuwajima, J. I., & Santana, A. S. (2020). *Regulação e investimentos no setor de saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas* (Texto para discussão do IPEA, n. 2587). Rio de Janeiro: IPEA.
- Santos. (2012). Decreto nº 6.044, de 10 de janeiro de 2012. Disciplina os requisitos para implantação dos sistemas de retenção de águas pluviais, e dá outras providências. Santos, 2012.
- Santos. Prefeitura Municipal de Santos – PMS. (2021). *Revisão do Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico (PMISB) do Município de Santos. Relatório Técnico R6 – Relatório Final* (318 p.). Recuperado em 20 de dezembro de 2023, de [https://smastr20.blob.core.windows.net/conesan/Santos\\_AE\\_DU\\_RS\\_2021.pdf](https://smastr20.blob.core.windows.net/conesan/Santos_AE_DU_RS_2021.pdf)
- Scott, R., Scott, P., Hawkins, P., Blackett, I., Cotton, A., & Lerebours, A. (2019). Integrating basic urban services for better sanitation outcomes. *Sustainability*, 11(3), 6706. <http://dx.doi.org/10.3390/su11236706>
- Silva, F. L., Fushita, A. T., Cunha-Santino, M. B., Bianchini Júnior, I., & Veneziani Júnior, J. C. (2021). Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(3), 1626-1653.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS-AE. (2021a, dezembro). *Diagnóstico temático: serviços de água e esgoto*. Brasília. Recuperado em 23 de março de 2023, de [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AE\\_SNI\\_S\\_2021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNI_S_2021.pdf)
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS-AP. (2021b, dezembro). *Diagnóstico temático: drenagem e manejo das águas pluviais urbanas*. Brasília. Recuperado em 23 de março de 2023, de em: [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ap/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AP\\_SNIS\\_2021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ap/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AP_SNIS_2021.pdf)

- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS-RS. (2021c, dezembro). *Diagnóstico temático: manejo de resíduos sólidos urbanos*. Brasília. Recuperado em 16 de abril de 2023, de [https://arquivos-snis.mdr.gov.br/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_RS\\_SNIS\\_2022.pdf](https://arquivos-snis.mdr.gov.br/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2022.pdf)
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS-AP. (2024). *SNIS - Série Histórica Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento*. Recuperado em 10 de janeiro de 2024, de <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>.
- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA. (2002). *Medidas não-estruturais. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba*. CH2MHILL Engenharia do Brasil Ltda. Recuperado em 10 de janeiro de 2024, de [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/sud0102rp\\_wr001\\_fi.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/sud0102rp_wr001_fi.pdf)
- Thieken, A. H., Bessel, T., Kienzler, S., Kreibich, H., Müller, M., Pisi, S., & Schröter, K. (2016). The flood of June 2013 in Germany how much do we know about its impacts? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1-57. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-2015-324>
- Tucci, C. E. M. (2007). *Inundações urbanas* (393 p.). Porto Alegre: ABRH/Rhama.
- Tucci, C. E. M. (2008). Águas Urbanas. *Estudos Avançados*, 22(3), 97-112. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>
- Tucci, C. E. M. (2009). *Integrated Urban Water Management in Large Cities: A Practical Tool for Assessing Key Water Management Issues in the Large Cities of the Developing World*. (165 p). World Bank.
- Tucci, C. E. M. (2016). Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. *Rega*, 13(1), 29-42.
- United Nations. (2023). *Sustainable development goals*. Recuperado em 21 de dezembro de 2023, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/#:~:text=Goal%206%3A%20Ensure%20access%20to%20water%20and%20sanitation%20for%20all&text=Access%20to%20safe%20water%2C%20sanitation,for%20health%20and%20well%2Dbeing>
- United States Army Corps of Engineers – USACE. (1986). *Public Law 99-662, de 17 de novembro de 1986*. Recuperado em 12 de dezembro de 2023, de <https://usace.contentdm.oclc.org/utis/getfile/collection/p16021coll5/id/35698>
- Van den Hurk, M., Martenbroek, E., & Meyjerink, S. (2014). Water Safety and spatial development: an institution comparison between United Kingdom and Netherlands. *Land Use Policy*, 36, 416-426. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.09.017>
- Vidal, I. C. A., Oliveira, R., Coura, M. A., Rodrigues, A. C. L., Costa Filho, F. C., & Camelo, S. M. (2020). Degradation of the macro-drainage water quality of an urban basin in Northeastern Brazil. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 4342-4356. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-020-00777-z>
- World Meteorological Organization – WMO. (2021). *WMO Atlas of mortality and economic losses from Weather, climate and water extremes (1970-2019)*. Recuperado em 21 de março de 2023, de [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10989](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10989)

#### Contribuições dos Autores:

**Daniele Feitoza Silva:** conceitualização, metodologia, coleta e análise de dados, análise formal, escrita, revisão.

**Carlos Eduardo Morelli Tucci:** conceitualização, análise formal, escrita, revisão, supervisão.

**Paola Marques Kuele:** coleta e análise de dados, escrita.

**Maria Elisa Leite Costa:** análise formal, escrita, revisão.

**Ana Cristina Strava Correa:** análise formal, escrita, revisão.

**Maurício Pontes Monteiro:** análise formal, revisão.

**Lígia Maria Nascimento de Araújo:** análise formal, revisão.