XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

MEDIDAS MITIGADORAS PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Camila Angélica Baum [1] Joel Avruch Goldenfum [2]

Abstract: Urban stormwater management faces increasing challenges, especially in small and medium-sized Brazilian municipalities that deal with technical and budgetary limitations. This article aims to propose a structured set of mitigation measures applicable to the Brazilian context, in order to support decision-making by public managers. The adopted methodology consisted of a systematic literature review, which resulted in the selection of 39 documents, from which 30 mitigation measures were extracted and systematized, organized into six thematic axes: Safety, Society, Strategic, Institutional, Infrastructure, and Environmental Quality. The results indicate that many non-structural measures, characterized by low cost and high effectiveness, are feasible even in contexts with financial constraints. The analysis also highlighted the importance of integrated actions that encompass not only physical and structural aspects but also social participation, regulation, strategic planning, and institutional capacity building. The coordinated adoption of the identified measures can significantly contribute to a more resilient and sustainable stormwater management model in Brazil, while respecting local limitations and potentialities.

Resumo: O gerenciamento das águas pluviais urbanas enfrenta desafios crescentes, especialmente em municípios brasileiros de pequeno e médio porte que convivem com limitação técnica e orçamentária. Este artigo tem como objetivo propor um conjunto estruturado de medidas mitigadoras aplicáveis à realidade brasileira, a fim de apoiar a tomada de decisão por gestores públicos. A metodologia adotada consistiu em uma revisão de literatura sistemática, que resultou na seleção de 39 documentos, dos quais foram extraídas e sistematizadas 30 medidas mitigadoras, organizadas em seis eixos temáticos: Segurança, Sociedade, Estratégico, Institucional, Infraestrutura e Qualidade Ambiental. Os resultados indicam que muitas medidas não estruturais, de baixo custo e elevada eficácia, são viáveis mesmo em contextos com restrições orçamentárias. A análise também revelou a importância de ações integradas, que envolvam não apenas aspectos físicos e estruturais, mas também participação social, regulação, planejamento estratégico e capacitação institucional. A adoção articulada das medidas identificadas pode contribuir significativamente para um modelo de gestão mais resiliente e sustentável das águas pluviais urbanas no Brasil, respeitando as limitações e potencialidades locais.

Palavras-Chave – Drenagem urbana; Gestão urbana sustentável.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento das águas pluviais evoluiu, ao longo dos anos, principalmente, na medida em que surgiam os problemas, de forma que, por décadas, eram escassas as estratégias para gerenciar essas águas nos espaços urbanos. O reconhecimento da necessidade de mudanças na gestão das águas

1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Feliz, Feliz - RS, 95770-000, eng.camilabaum@gmail.com
2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre - RS, 91501-970, joel@iph.ufrgs.br

em áreas urbanas reflete a compreensão de que os processos sociais e as demandas da sociedade têm sido os principais motores da evolução das tecnologias de água no ambiente urbano (ZISCHG *et al*., 2019). Entre esses fatores impulsionadores, os autores destacam: a necessidade de adaptação às mudanças climáticas; a disponibilidade de recursos financeiros e a disposição para investir; o crescente desejo por espaços urbanos visualmente agradáveis; a adoção de processos decisórios mais inclusivos e participativos; e as expectativas da comunidade quanto à redução da poluição nas águas drenadas (ZISCHG *et al*., 2019).

Países desenvolvidos são pioneiros em abordagens integradas, adaptativas e inteligentes para gerir as águas pluviais em busca de um desenvolvimento urbano mais sustentável. Já em países em desenvolvimento, como o Brasil, estratégias sustentáveis ainda são pouco difundidas, e as principais barreiras para a implantação da gestão sustentável das águas urbanas no país são: ausência de padrões de design e manutenção, ausência de planejamento de longo prazo, ausência de divulgação e conhecimento, relutância em mudar e ausência de incentivos (VASCONCELOS *et al*., 2022). Além disso, nos países em desenvolvimento o crescimento urbano continua a ocorrer em grandes escalas espaciais, agregando mais um fator de dificuldade.

Além dos problemas físicos, o sistema institucional que engloba o setor de drenagem e manejo das águas pluviais em países em desenvolvimento apresenta outras limitações para a implementação de novas abordagens mais sustentáveis. Mais do que a evolução em sistemas físicos, os países em desenvolvimento necessitam de sistemas de gestão e gerenciamento eficientes. Nesse contexto, com vistas a fornecer informações para apoiar a tomada de decisão pelos gestores, esse artigo tem por objetivo estruturar um conjunto de medidas mitigadoras possíveis para problemas envolvendo o gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas em municípios brasileiros de pequeno e médio porte.

METODOLOGIA

Com vistas à identificação de medidas para mitigar ou solucionar os problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas, aplicáveis para a realidade brasileira, inicialmente foi realizada a identificação de medidas mitigadoras descritas na literatura. Para tanto, foi realizada revisão da literatura sobre medidas mitigadoras para os problemas envolvendo gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas, de forma a proporcionar aos tomadores de decisão possíveis alternativas para os problemas sintetizados por Baum e Goldenfum (2023).

A busca por bibliografias para subsidiar a revisão da literatura foi realizada nas bases de dados *Web of Science (WoS)* e *Google Scholar*. As seguintes palavras-chave foram pesquisadas: “gestão sustentável de águas pluviais”, “técnicas compensatórias”, “técnicas alternativas”, “medidas mitigadoras”, “medida de drenagem estrutural”, “medida de drenagem não-estrutural”, “águas pluviais”, “água da chuva”, “controle na fonte”, “controle de águas pluviais”, “drenagem sustentável”, tanto em língua portuguesa quanto inglesa. Foram consideradas variações na grafia das palavras e, também, combinações entre os termos, com o objetivo de refinar os resultados. Foram considerados documentos em inglês e em português. Também foram avaliadas as listas de referências dos documentos, com o objetivo de identificar possíveis documentos relevantes que não foram identificados nas buscas.

Os documentos pré-selecionados incluíram artigos revisados por pares de periódicos científicos, livros, documentos oficiais, como legislação e manuais, livros e teses acadêmicas, totalizando 39 (trinta e nove) documentos selecionados para compor esta revisão de literatura. É importante ressaltar que o objetivo desta revisão de literatura foi encontrar medidas mitigadoras aplicáveis para a realidade brasileira, que não são necessariamente as propostas mais avançadas no

tema, pois estas geralmente não são viáveis neste contexto. Documentos com ideias semelhantes identificadas por meio da pesquisa bibliográfica foram descartados.

As medidas identificadas foram organizadas em eixos temáticos, considerando o eixo para o qual apresentam maior potencial de suporte. Assim, as medidas mitigadoras foram descritas e discutidas no contexto brasileiro para fornecer informações para apoiar a tomada de decisão pelos gestores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão bibliográfica permitiu a identificação de 30 medidas mitigadoras, as quais foram organizadas em seis eixos temáticos: Segurança, Sociedade, Estratégico, Institucional, Infraestrutura e Qualidade Ambiental. As medidas são apresentadas e discutidas em uma ordem de potencial prioridade, muito embora a implementação de algumas medidas dependa da implementação de outras, que são apresentadas posteriormente.

A ordem de prioridade adotada considerou, primeiramente, a segurança da população. Em seguida, foram priorizadas medidas com envolvimento direto da sociedade, as quais, muitas vezes, apresentam baixo custo financeiro e potencial para contribuir na mitigação de diversos problemas. Na sequência, foram incluídas ações estratégicas e institucionais, que embora relevantes, podem exigir investimentos mais elevados e a atuação de profissionais capacitados para sua implementação. As medidas de infraestrutura, por demandarem altos investimentos, também foram consideradas importantes, mas sua execução depende da disponibilidade orçamentária. Por fim, as ações voltadas à qualidade ambiental foram listadas por último, uma vez que, em sua maioria, requerem a prévia implantação de estruturas físicas para que possam ser efetivas.

Quadro 1 - Medidas mitigadoras identificadas agrupadas por eixo temático.

Eixo	**Medida Mitigadora**
Eixo: Segurança	Sistema de previsão e alerta de precipitação e inundação
	Zoneamento das áreas de inundação
	Obras de proteção individual contra inundações
	Seguro contra inundações
	Planos de contingência e emergência definidos
Eixo: Sociedade	Campanhas educativas e preventivas relacionadas às águas pluviais para todas as partes interessadas
	Participação ativa da sociedade
	Regularização fundiária e suporte para a população residente em áreas de risco
Eixo: Estratégico	Ferramentas e mecanismos de monitoramento e avaliação da gestão e de suporte à decisão
	Incentivos para promoção de estruturas de infiltração de águas pluviais
	Apoio técnico
	Consideração da bacia hidrográfica no planejamento e gestão
	Promoção de parcerias entre entidades públicas e entidades de pesquisas sobre gestão e manejo das águas pluviais
Eixo: Institucional	Geração, registro, integração e compartilhamento de informações
	Capacitação, transferência de conhecimento e atualização técnica contínua
	Desenvolvimento de Planos e Manuais Técnicos de suporte para a gestão de águas pluviais e na implementação de estruturas de águas pluviais
	Desenvolvimento e atualização de leis relacionadas às águas pluviais, considerando problemas, tecnologias e mecanismos atuais
	Manutenção periódica do sistema de drenagem

	Regulação de aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo, uso de técnicas compensatórias, qualidade e quantidade de água pluvial
	Adoção de gestão de águas pluviais de caráter abrangente e integrado
	Fiscalização dos serviços relacionados às águas pluviais urbanas e do uso e ocupação do solo.
Eixo: Infraestrutura	Monitoramento qualiquantitativo contínuo de cursos hídricos
	Viabilização financeira para implantação e manutenção da infraestrutura e para ações
	Integração entre estruturas de macrodrenagem e espaços de lazer
	Adoção de medidas compensatórias e medidas tradicionais de controle extensivas
	Adoção de medidas tradicionais de controle intensivas
Eixo: Qualidade Ambiental	Gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos e esgotamento sanitário adequado
	Proteção e estabilização de margens e encostas de cursos hídricos
	Controle de vetores de doenças relacionados às águas pluviais
	Recomposição e preservação de áreas de preservação permanente e de áreas verdes

Fonte: Os atores (2022).

Medidas Mitigadoras - Eixo: Segurança

A segurança da população e de bens é a principal prioridade em ações de contingência e emergência frente a eventos hidrológicos extremos. As medidas mitigadoras não-estruturais voltadas à segurança da população visam reduzir os prejuízos ao promover uma melhor convivência com esses eventos. Em conjunto com medidas estruturais (ou na sua ausência), elas podem minimizar significativamente os danos a um custo menor (TUCCI, 2005). Exemplos incluem o zoneamento de áreas suscetíveis à inundação, sistemas de previsão e alerta de precipitação e inundação, e seguros contra inundações (CANHOLI, 2015; GUSMÃO, 2016; MARTINS, 2012; MIGUEZ *et al*. 2015; TUCCI, 2005; TUCCI; GENZ, 2015).

As medidas não-estruturais podem ser consideradas um passo inicial para a proteção das pessoas quando não há medidas estruturais. Além disso, elas são essenciais para gerenciar o risco residual que permanece mesmo após a implementação de medidas estruturais (JHA *et al*. 2012). Geralmente, essas medidas não exigem grandes investimentos (CANHOLI, 2015; JHA *et al*. 2012) e apresentam horizontes de atuação mais longos (CANHOLI, 2015). No entanto, frequentemente requerem um bom entendimento do perigo de inundação (probabilidade de ocorrência) e sistemas de previsão meteorológica adequados (JHA *et al*. 2012). De acordo com Canholi (2015), as ações não-estruturais buscam disciplinar a ocupação territorial, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas.

A adição de algumas medidas estruturais, como obras de proteção individual contra inundações – que são adaptações estruturais em construções para reduzir os impactos das inundações – ou a realocação de casas em vias de drenagem e planícies aluviais (PARKINSON, 2003), caracterizam-se como medidas preventivas (CANHOLI, 2015; GUSMÃO, 2016; MIGUEZ *et al*. 2015; PARKINSON, 2003). Normalmente, estas são definidas adequadamente a partir do zoneamento das áreas de inundação. O zoneamento, juntamente com a regulamentação para a construção e obras de proteção individual, é estabelecido pela delimitação das áreas sujeitas a inundações com base no risco (CANHOLI, 2015).

Por sua vez, os sistemas de alerta de inundações em tempo real têm sido aprimorados com o avanço no poder computacional e a aplicação de tecnologias de radar meteorológico e técnicas de mapeamento de Sistemas de Informações Geográficas (VOJINOVIC; VAN TEEFFELEN, 2007). No entanto, Jha *et al*. (2012) destacam a importância da participação e engajamento das partes interessadas e instituições públicas. Isso se deve ao fato de que, em alguns casos, eventos impactantes

têm baixa recorrência, enfraquecendo a memória dos impactos na comunidade. Além disso, grande parte das medidas não-estruturais é desenvolvida para minimizar, e não evitar danos, o que leva muitas pessoas a preferir, instintivamente, a adoção de medidas estruturais intensivas.

A resposta a emergências exige antecipação e treinamento apropriado de diversos setores (MARTINS, 2012). A elaboração de um plano de ação emergencial deve considerar os sistemas de previsão e alerta para antecipar os impactos, um mapeamento prévio desses impactos e o dimensionamento dos recursos necessários para eliminar perdas fatais e minimizar danos materiais (MARTINS, 2012).

Nesse contexto, cabe destaque para a importância de comunicação amplamente acessível, pois é fundamental para garantir a eficácia das estratégias de mobilização e evacuação (PARKINSON, 2003). Essas estratégias devem estar bem definidas no plano de emergência e contingência local. Planos de ação emergencial devem indicar com exatidão e confiabilidade a cadeia de comunicação e decisão a serem seguidas no estabelecimento de uma emergência, e a forma como essa comunicação deve ser realizada, considerando os diversos órgãos envolvidos, como a Defesa Civil, agências reguladoras e hospitais (MARTINS, 2012).

Medidas Mitigadoras - Eixo: Sociedade

A sociedade é o ator fundamental para que as medidas mitigadoras medidas mitigadoras sejam definidas adequadamente e promovam o efeito esperado no gerenciamento das águas pluviais urbanas. O diálogo entre as partes interessadas é essencial para a tomada de decisão e uma gestão sustentável (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021).

Diversos autores (MARTINS, 2012; MIGUEZ *et al*. 2015; PORTO, 2015) destacam a importância da educação social sobre águas pluviais, com envolvimento comunitário por meio de demonstrações (ROY *et al*., 2008) e incentivo a ações preventivas e mudanças de comportamento (DHAKAL; CHEVALIER, 2016; PARKINSON, 2003). Gusmão (2016) foca na educação hidroambiental, e Goldenfum *et al*. (2007) ressaltam a necessidade de transferir conhecimento em diferentes níveis: técnico, legislativo e ambiental geral. Paralelamente, é destacada a educação ambiental relacionada ao controle da poluição difusa e de resíduos sólidos (CANHOLI, 2015; PORTO, 2015). Engajar a comunidade é necessário, pois além de colaborar na tomada de decisões, o envolvimento aumenta a eficácia das ações de gestão sustentável, que dependem da população para construção, manutenção e fiscalização de estruturas (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021).

Embora experiências de perigo possam aumentar a conscientização, a falta de conhecimento técnico acessível pode levar à percepção de que as águas pluviais não são um problema social e ambiental (SCARLETT *et al.,* 2021). Assim, a contribuição social é fundamental na formulação, execução e avaliação dos planos de manejo de á águas pluviais (GUSMÃO, 2016). A participação dos usuários paralelamente à inserção de novos equipamentos de drenagem no meio urbano também é imprescindível, haja visto o papel fundamental que exercem no que se refere à sua aceitação, manutenção e correto funcionamento (SANTOS *et al*., 2016).

Por fim, a medida mitigadora relacionada à regularização fundiária e suporte para a população residente em áreas de risco deve ser implantada juntamente das demais. Pessoas de baixa renda são desproporcionalmente afetadas por residirem em assentamentos informais em terras marginais, que o mercado habitacional formal não tem interesse (PARKINSON, 2003). De acordo com Tucci (2008), o planejamento urbano, muitas vezes, prioriza a população de renda média e alta, deixando áreas de ocupação ilegal suscetíveis a construções em locais de risco.

Medidas Mitigadoras - Eixo: Estratégico

A drenagem e o manejo das águas pluviais diferem dos demais serviços de saneamento porque seus efeitos transcendem os limites municipais. Isso exige uma visão ampla e estratégica que envolva todos. Esse aspecto demanda uma visão mais ampla, estratégica e que abranja todos os envolvidos. Tucci e Meller (2007) ressaltam a necessidade de um mecanismo institucional que conecte a gestão da bacia com a da cidade, com regulamentação interna. Gusmão (2016) reforça que a bacia hidrográfica deve ser a unidade mínima de estudo e planejamento. Frequentemente, a gestão da água urbana ocorre sem considerar os problemas das bacias (ONEDA; BARROS, 2021). Para superar impasses entre os envolvidos na mesma bacia de drenagem, são estratégicas as ferramentas de monitoramento e avaliação (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021), a informação aos legisladores sobre soluções para além da simples transferência de inundações (GOLDENFUM *et al*., 2007), e o incentivo à articulação interdisciplinar e transdisciplinar entre gestores (GUSMÃO, 2016).

Uma alternativa estratégica, embora ainda incipiente no Brasil, é a gestão sustentável de águas pluviais urbanas. Essa abordagem abrangente e integrada não só trata dos aspectos sanitários, mas também das questões ambientais e da qualidade de vida (FLETCHER *et al*., 2015). Para uma implementação eficaz do manejo sustentável de águas pluviais urbanas é necessário o suporte técnico para a tomada de decisões (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021).

Além da organização da gestão e de práticas sustentáveis, a implementação depende de incentivos financeiros (TUCCI, 2016; VASCONCELOS, 2020) e apoio técnico (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002; TUCCI; MELLER, 2007). Diferente das taxas de água e esgoto, uma taxa de águas pluviais pode ser reduzida por créditos específicos (TASCA *et al*. 2018).

No que tange ao apoio técnico, são citados o apoio estadual e federal, através de escritórios técnicos ou agências de apoio (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002; TUCCI; MELLER, 2007). Outra forma de, em certo grau, obter apoio técnico é por meio da promoção de parcerias entre entidades públicas e entidades de pesquisas sobre gestão e manejo das águas pluviais. Do ponto de vista de soluções, testar conceitos e tecnologias novas com projetos-piloto e o aprendizado entre cidades parece uma estratégia promissora para lidar com a complexidade da gestão (JIANG *et al*. 2018). Gusmão (2016) destaca que a ligação entre o conhecimento acadêmico e a prática da gestão pública ainda é precária, corroborando Souza (2013), que afirma a pouca visibilidade e rara avaliação em escala real das pesquisas acadêmicas na área.

Medidas Mitigadoras - Eixo: Institucional

Diversos autores destacam a importância do fortalecimento técnico-institucional como forma de mitigar os desafios associados à gestão das águas pluviais urbanas. Para que o sistema funcione conforme esperado, é essencial dispor de uma estrutura institucional sólida, com normas atualizadas, dados técnicos confiáveis e equipe qualificada. Além da capacitação técnica, é recomendada a implementação de políticas permanentes de treinamento e atualização profissional, por meio de *workshops* e outras atividades formativas (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002; ROY *et al*., 2008; GOLDENFUM *et al*., 2007).

A eficácia dessas equipes, no entanto, depende do compartilhamento de informações entre os atores envolvidos (GUSMÃO, 2016; SOUZA, 2013) e da produção contínua de novos dados (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). Ainda assim, poucos municípios brasileiros mantêm seus cadastros de redes atualizados — ferramenta essencial para o planejamento de soluções estruturais e não estruturais. Idealmente, o planejamento de drenagem deveria estar previsto em Planos Diretores de Águas Pluviais, complementado por Manuais Técnicos com diretrizes e normas específicas.

A implementação dos Planos, contudo, requer respaldo legal e regulamentações eficazes. A ausência de regulamentação inviabiliza a aplicação das leis existentes (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). Autores como Colombelli (2018) defendem a regulação como mecanismo para enfrentar os entraves da gestão pluvial. Dhakal e Chevalier (2017) apontam que essa regulamentação deve considerar os critérios hidrológicos locais. No caso das medidas sustentáveis ou compensatórias, é indispensável incorporar o manejo sustentável de águas pluviais à legislação urbana, o que ainda é incipiente em muitos contextos (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). Para lidar com a ausência de padrões técnicos adequados, Roy *et al*. (2008) sugerem a criação de portarias modelo e documentos orientativos, enquanto Baptista e Nascimento (2002) destacam a importância de políticas de atualização cadastral. Contudo, legislações e normas não têm efeito sem mecanismos de fiscalização. Segundo Gusmão (2016), é a fiscalização que assegura o cumprimento das medidas de controle de inundações, alagamentos e enxurradas. Oneda e Barros (2021) ressaltam que a maioria dos municípios brasileiros carece de políticas públicas, normas e fiscalização voltadas às águas pluviais.

Além da fiscalização, a inspeção e manutenção periódica e contínua do sistema de drenagem é fundamental para o funcionamento adequado do mesmo (COLOMBELLI, 2018; MARTINS, 2012; VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). Reparos regulares e investimentos contínuos em macro e microdrenagem evitam falhas operacionais (GUSMÃO, 2016).

Para garantir a eficácia de todas essas medidas, é essencial adotar uma abordagem integrada e abrangente na gestão das águas pluviais. A literatura enfatiza a necessidade de maior comprometimento institucional, especialmente no contexto brasileiro, onde essa gestão deve acompanhar a evolução da governança pública (TUCCI; MELLER, 2007). Isso requer a integração entre os diversos órgãos administrativos municipais (GOLDENFUM *et al*., 2007) e a criação de mecanismos de governança articulada, com participação do poder público (JIANG *et al*., 2018).

Medidas Mitigadoras - Eixo: Infraestrutura

A infraestrutura voltada à drenagem e manejo das águas pluviais é um dos pilares da gestão desses sistemas, com influência direta sobre a qualidade ambiental e social, especialmente em situações de eventos extremos. Sistemas de monitoramento hidrológico e da qualidade da água, como destacam Baptista e Nascimento (2002) e Souza (2013), oferecem suporte essencial aos órgãos municipais. Para Barbosa *et al*. (2012), esses programas devem considerar as características locais, os recursos disponíveis, o tempo e os objetivos específicos.

O monitoramento qualiquantitativo permite identificar falhas operacionais, orientar o dimensionamento de novos sistemas e embasar soluções técnicas (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002). Autores como Canholi (2015), Miguez *et al*. (2015) e Tucci e Genz (2015) descrevem diferentes medidas estruturais, que vão desde controles tradicionais intensivos até opções compensatórias e extensivas. Destacam-se, entre essas, soluções integradas à paisagem urbana, como praças com funções hidráulicas, que oferecem respostas sustentáveis às enchentes (MIGUEZ *et al*., 2015). Apesar da necessidade crescente de inovação, especialmente diante da variabilidade climática e da urbanização intensa, as exigências técnicas e regulatórias muitas vezes dificultam sua implementação (MARSALEK; SCHREIER, 2009). Para superá-las, são sugeridos incentivos, ajustes em estruturas regulatórias ou estruturas de incentivo econômico (JEFFERSON *et al*., 2017).

A viabilidade financeira para implantação e manutenção da infraestrutura é outro desafio apontado por diversos autores (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002; ROY *et al*., 2008; VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). Além da manutenção e da ampliação contínua, há necessidade de criar condições institucionais favoráveis ao investimento (JIANG *et al*., 2018; TUCCI; MELLER, 2007). Estratégias como subsídios fiscais em áreas sujeitas a inundações (TUCCI; GENZ, 2015) e a cobrança de taxas de uso da infraestrutura são mecanismos possíveis. Estas últimas,

além de financiar o sistema, podem incentivar mudanças de comportamento (TASCA *et al*., 2018). No entanto, sua aceitação está condicionada à confiança pública: segundo Vasconcelos e Barbassa (2021), a percepção de má gestão e corrupção dificulta a adesão, sendo imprescindível a adoção de políticas transparentes e eficazes que fortaleçam a relação entre governo e sociedade.

Medidas Mitigadoras – Eixo: Qualidade Ambiental

A gestão contemporânea das águas pluviais também contempla a proteção ambiental, a valorização dos recursos hídricos e o controle da qualidade da água (TASCA *et al*., 2018). Em países em desenvolvimento, no entanto, o saneamento ainda é insuficiente e afeta negativamente o desempenho dos sistemas de drenagem. No Brasil, conexões indevidas entre redes de esgoto e drenagem pluvial, somadas à baixa cobertura de coleta, comprometem a qualidade dos rios urbanos (MORIHAMA *et al*., 2012).

O gerenciamento adequado dos serviços de esgotamento, coleta de resíduos e varrição de ruas tem impacto significativo na qualidade das águas pluviais e no desempenho de estruturas de drenagem (PARKINSON, 2003; PORTO, 2015; TUCCI; MELLER, 2007). Esses serviços também impactam diretamente a saúde pública (TASCA *et al*., 2018). Conforme Parkinson (2003), eventos extremos afetam a qualidade de vida não só pelos danos imediatos, mas também pelo aumento de doenças transmitidas por vetores, o que compromete os recursos familiares. Ainda que difíceis de quantificar, os benefícios da drenagem sobre a saúde são observáveis: estudos brasileiros indicam que melhorias em infraestrutura sanitária reduzem significativamente doenças diarreicas, mesmo sem alterações comportamentais no domicílio (MORAES *et al*., 2003).

Problemas como a deficiência no saneamento e no manejo de resíduos intensificam a poluição difusa e favorecem a proliferação de vetores. A degradação das margens dos cursos d'água também contribui para o assoreamento e a perda de qualidade ambiental. A proteção das margens é essencial para conter a erosão e preservar os recursos hídricos (TUCCI; MELLER, 2007). Nesse sentido, autores como Canholi (2015), Tucci (2005) e Galenari *et al*. (2015) defendem o controle da erosão tanto nas margens quanto em toda a bacia hidrográfica.

A pavimentação adequada das vias é uma medida importante, mesmo quando já existe rede de drenagem, pois reduz a erosão causada pelo escoamento superficial (GALENARI *et al*., 2015). Outras medidas, estruturais e não estruturais, incluem obras de macrodrenagem, contenção de encostas e a preservação de áreas verdes e de preservação permanente. Essas áreas atuam na contenção da erosão e também ajudam a mitigar a poluição difusa (CANHOLI, 2015; MIGUEZ *et al*., 2015; TUCCI, 2005; GALENARI *et al*., 2015). De acordo com esses mesmos autores, dentre as principais medidas estruturais de controle da poluição por cargas difusas estão a minimização da área diretamente conectada, faixas gramadas ou plantadas e valetas gramadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou um conjunto de medidas mitigadoras aplicáveis à realidade brasileira, a fim de apoiar a tomada de decisão por gestores públicos para o gerenciamento dos problemas relacionados as águas pluviais urbanas. Foi demonstrada a aplicabilidade das medidas analisadas, em diversos contextos, de acordo com os interesses e demandas dos atores locais. No total foram propostas trinta medidas mitigadoras, sintetizadas e organizadas em seis eixos principais, sendo discutida sua aplicabilidade para a realidade de municípios brasileiros. Cada medida mitigadora proposta pode colaborar com a superação de mais de um problema envolvendo águas pluviais urbanas, além de contribuir com a melhora do sistema de águas pluviais como um todo. Esse estudo

apresenta, também, a possibilidade de verificar como as medidas se interligam, dentro de um mesmo eixo e com medidas de outros eixos, evidenciando a importância de um gerenciamento integrado.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. de O. (2002). "*Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana*". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 7 (1), pp. 29-49.

BARBOSA, A. E.; FERNANDES, J. N.; DAVID, L. M. (2012). "*Key issues for sustainable urban stormwater management*". Water Research, 46 (20), pp. 6787–6798.

BAUM, C.A. GOLDENFUM, J. A. (2023). "*Indicadores de suporte ao gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas no Brasil*". Revista AIDIS, 16 (3), pp. 987-1012.

CANHOLI, A. (2015). "*Drenagem urbana e controle de enchentes*". Oficina de textos.

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 (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DHAKAL, K. P.; CHEVALIER, L. R. (2016). "*Urban Stormwater Governance: The Need for a Paradigm Shift*". Environmental Management, 57, pp. 1112-1124.

FLETCHER, T. D. et al. (2015) "*SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage*". Urban Water Journal, 12 (7), pp. 525–542.

GALERANI, C. et al. (2015). *"Controle da erosão urbana", in Drenagem Urbana.* Org. Tucci, C. E. M., Barros, M. T. L. e Porto, R. L. L. ABRH, Porto Alegre.

GOLDENFUM, J. A. et al. (2007). "*Challenges for the sustainable urban stormwater management in developing countries*". Novatech, pp. 357–364.

GUSMÃO, M. B. R. de. (2016). *"Diretrizes para uma abordagem sistêmica de gestão das águas pluviais urbanas".* Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

JEFFERSON, A. J. et al. (2017). "*Stormwater management network effectiveness and implications for urban watershed function: A critical review*". Hydrological Processes, 31 (23), pp. 4056–4080.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. (2012). *"Cidades e Inundações Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI"*. The World Bank: Banco Mundial/Escritório de Brasília.

JIANG, Y.; ZEVENBERGEN, C.; MA, Y. (2018). "*Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and "sponge cities" strategy*". Environmental Science and Policy, 80, pp. 132-143.

MARSALEK, J.; SCHREIER, H. (2009). "*Innovation in stormwater management in canada: The way forward*". Water Quality Research Journal of Canada, 44 (1).

MARTINS, J. R. S. (2012). "*Gestão da drenagem urbana: só tecnologia é suficiente?*".

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. (2015). *"Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade"*. GEN LTC. 384 p.

MORAES, L. R. S. et al. (2003). "*Impact of drainage and sewerage on diarrhoea in poor urban areas in Salvador, Brazil*". Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 97 (2), pp. 153-158.

MORIHAMA, A. C. D. et al. (2012). "*Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions*". Water Science and Technology, 66 (4), pp. 704-711.

ONEDA, T. M. S.; BARROS, V. G. (2021). "*On stormwater management master plans: comparing developed and developing cities*". Hydrological Sciences Journal, 66 (1), pp. 1–11.

PARKINSON, J. (2003). "*Drainage and stormwater management strategies for low-income urban communities*". Environment and Urbanization, 15 (2), pp. 115-126.

PORTO, M. F. A. (2015). *"Aspectos qualitativos do escoamento supericial em áreas urbanas", in Drenagem Urbana.* Org. Tucci, C. E. M., Barros, M. T. L. e Porto, R. L. L. ABRH, Porto Alegre.

ROY, A. H. et al. (2008). "*Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States*". Environmental Management, 42 (2).

SCARLETT, R. D. et al. (2021). "*Stormwater on the margins: Influence of race, gender, and education on willingness to participate in stormwater management*". Journal of Environmental Management, 290.

SANTOS, M. F. N. et al. (2016). "*Descentralizando o manejo das águas pluviais: Como promover a participação da comunidade?*" in Anais do 7° Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, Maceió, 2016.

SOUZA, V. C. B. de. (2013). "*Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade*". Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, 1 (1), pp. 52-66.

TASCA, F. A.; ASSUNCÃO, L. B.; FINOTTI, A. R. (2018). "*International experiences in stormwater fee*". Water Science and Technology, 2017(1), pp. 287-299.

TUCCI, C. E. M. (2005). "*Gestão de Águas Pluviais Urbanas*". Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank – Unesco.

TUCCI, C. E. M. (2008). "*Águas Urbanas*". Estudos Avançados, 22 (63), pp. 97-112.

TUCCI, C. E. M. (2016. "*Regulamentação da drenagem urbana no Brasil*". Revista de Gestão de Água da América Latina, 13 (1), 29-42.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. (2015). *"Controle do Impacto da Urbanização", in Drenagem Urbana.* Org. Tucci, C. E. M., Barros, M. T. L. e Porto, R. L. L. ABRH, Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M.; MELLER, A. (2007). "*Regulação das águas pluviais urbanas*". Revista de Gestão das Águas da América Latina, 4 (1) pp. 75-92.

VASCONCELOS, A.; BARBASSA, A. (2021). "*Sustainable urban stormwater management in developing countries: integrating strategies to overcome Brazilian barriers*". Urban Water Journal, 20 (10).

VASCONCELOS, A. F. et al. (2022). "*Barriers to sustainable urban stormwater management in developing countries: The case of Brazil*". Land Use Policy, 112, pp. 264–8377.

VOJINOVIC, Z.; VAN TEEFFELEN, J. (2007). "*An integrated stormwater management approach for small islands in tropical climates*". Urban Water Journal, 4 (3), pp. 211–231.

ZISCHG, J. et al. (2019). "*Future trajectories of urban drainage systems: A simple exploratory modeling approach for assessing socio-technical transitions*". Science of the Total Environment, v. 651.

AGRADECIMENTO

A primeira autora agradece a concessão da bolsa de estudos pela agência brasileira Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.