Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DRENAGEM URBANA

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON URBAN DRAINAGE

Mateus Oliveira Costa
Graduando, Universidade de Gurupi - UNIRG, Brasil
E-mail: mateusocosta@unirg.edu.br

Camila Ribeiro Rodrigues
Prof.ª Orientadora, Universidade de Gurupi - UNIRG, Brasil
E-mail: camilaribeiro@unirg.edu.br

Recebido: 01/05/2025 – Aceito: 26/05/2025

Resumo

As mudanças climáticas têm provocado alterações significativas no regime hidrológico das cidades, especialmente por meio da intensificação de eventos extremos, como precipitações concentradas. Esse fenômeno tem desafiado os sistemas tradicionais de drenagem urbana, que frequentemente se mostram insuficientes diante de volumes cada vez maiores de escoamento superficial. Este artigo tem como objetivo analisar os principais impactos das mudanças climáticas sobre a drenagem urbana, com base em revisão bibliográfica e abordagem técnica. São discutidas também possíveis soluções adaptativas, com ênfase em práticas sustentáveis e infraestrutura resiliente. A pesquisa evidencia a urgência de replanejar os sistemas de drenagem considerando o novo cenário climático global.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Drenagem urbana; Precipitação extrema; Infraestrutura urbana; Resiliência.

Abstract

Climate change has significantly altered the hydrological regime in urban areas, particularly through the intensification of extreme events such as concentrated rainfall. This phenomenon challenges traditional urban drainage systems, which often prove insufficient to handle increasing runoff volumes. This article aims to analyze the main impacts of climate change on urban drainage, based on a technical literature review. Adaptive solutions are also discussed, emphasizing sustainable practices and resilient infrastructure. The research highlights the urgency

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

of redesigning drainage systems to adapt to the new global climate scenario.
Keywords: Climate change; Urban drainage; Extreme precipitation; Urban infrastructure; Resilience.

Introdução

O avanço das mudanças climáticas tem reconfigurado padrões hidrológicos em escala global, impactando diretamente o comportamento das precipitações e o funcionamento das infraestruturas urbanas. No contexto brasileiro, esse fenômeno tem se manifestado de maneira particularmente crítica nas cidades, onde o aumento da impermeabilização do solo, aliado a sistemas de drenagem ultrapassados ou mal planejados, agrava significativamente os riscos de alagamentos, enchentes e prejuízos socioeconômicos (Marengo et al., 2020).

Estudos recentes apontam que o volume de chuvas extremas no Brasil cresceu de forma preocupante nas últimas décadas. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), eventos de precipitação acima de 50 mm/dia aumentaram 27% entre 1991 e 2020, com maior concentração nas regiões Sudeste e Sul — áreas altamente urbanizadas e já vulneráveis a colapsos hidrológicos urbanos. Em São Paulo, por exemplo, o volume médio anual de chuvas intensas subiu de 1.320 mm para 1.495 mm em apenas duas décadas, segundo dados da ANA (2023).

Casos emblemáticos ilustram os impactos dessa nova realidade. Em Blumenau (SC), a precipitação acumulada de 180 mm em apenas 24 horas, em novembro de 2023, levou ao colapso de galerias pluviais e desabamento de taludes urbanos, afetando mais de 8 mil pessoas e interrompendo serviços essenciais. Já em Recife, a combinação de marés altas e chuvas acima da média provocou, em 2022, o transbordamento de canais e a inundação de mais de 25 bairros em um único dia, evidenciando a complexidade do problema em regiões litorâneas (IBGE, 2024).

Frente a esse cenário, torna-se imprescindível revisar os sistemas de drenagem urbana à luz das projeções climáticas atuais. Não se trata apenas de ampliar a capacidade hidráulica das redes, mas de adotar estratégias integradas de gestão das águas pluviais, incorporando soluções baseadas na natureza, planejamento urbano sustentável e tecnologias de monitoramento hidrometeorológico em tempo real.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

1.1 Objetivos Gerais

Este artigo propõe uma análise crítica dos impactos das mudanças climáticas sobre a drenagem urbana no Brasil, com foco em estudos de caso representativos e dados empíricos recentes. Através de uma abordagem qualitativa-descritiva e revisão integrativa da literatura, busca-se evidenciar os principais desafios enfrentados pelas cidades brasileiras e indicar caminhos possíveis para o fortalecimento da resiliência urbana diante do novo regime climático.

Fundamentação Teórica

2.1. Mudanças Climáticas e Seus Efeitos Hidrológicos

As mudanças climáticas são alterações significativas e duradouras nos padrões de temperatura, precipitação, vento e outros elementos do clima global ou regional. Essas alterações, em grande parte impulsionadas por atividades humanas, têm causado impactos severos no ciclo hidrológico, afetando o regime de chuvas e a frequência de eventos extremos, como secas intensas e chuvas torrenciais (IPCC, 2023).

Segundo projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), espera-se um aumento da temperatura média global entre 1,5 °C e 2 °C até 2050, o que implicará em um acréscimo de até 20% na intensidade das chuvas extremas em diversas regiões urbanas da América Latina. Estudos de Marengo et al. (2021) indicam que, no Brasil, as chuvas intensas concentradas em curtos períodos têm aumentado significativamente, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, tornando os sistemas urbanos de drenagem mais vulneráveis.

O aumento do conteúdo de vapor d’água na atmosfera, resultante do aquecimento global, tem potencializado a formação de eventos de precipitação

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

intensa. Conforme Clausius-Clapeyron, para cada 1 °C de aumento da temperatura, a capacidade da atmosfera de reter umidade cresce cerca de 7%, o que intensifica a ocorrência de chuvas intensas localizadas (Allan et al., 2020).

2.2. Drenagem Urbana: Conceito e Limitações Tradicionais

A drenagem urbana é um sistema técnico concebido para coletar e conduzir as águas pluviais, evitando alagamentos, erosões e degradações ambientais. No entanto, os sistemas convencionais foram dimensionados com base em dados históricos e não consideram adequadamente os cenários extremos das mudanças climáticas (Tucci, 2017).

Os sistemas tradicionais baseiam-se no modelo de escoamento rápido (fast-drainage), em que o objetivo principal é remover a água da superfície urbana o mais rápido possível. Essa abordagem ignora o ciclo hidrológico natural, promove a impermeabilização excessiva do solo e reduz a infiltração, aumentando o volume e a velocidade de escoamento superficial (Prigiobbe et al., 2019).

Estudo de Pina et al. (2020) sobre o sistema de drenagem da cidade de Belo Horizonte mostrou que 67% das microbacias urbanas avaliadas apresentaram capacidade insuficiente de escoamento diante dos cenários de chuvas projetados para 2030. Em São Paulo, segundo levantamento da CETESB (2022), 45% das galerias pluviais foram classificadas como subdimensionadas para eventos com tempo de retorno superior a 10 anos.

2.3. Eventos Extremos e Impactos na Infraestrutura Urbana

Eventos extremos, como chuvas intensas concentradas, vêm superando a capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem, provocando alagamentos recorrentes, inundações, colapsos estruturais e prejuízos socioeconômicos. Em estudo de caso realizado por Reis e Gomes (2022) no município de Nova Iguaçu (RJ), observou-se que 92% das ocorrências de alagamento entre 2017 e 2021 ocorreram em áreas com sistemas de drenagem implantados antes de 1990.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

Na cidade de Recife, uma das mais vulneráveis hidrologicamente, a Defesa Civil registrou, em 2022, mais de 70 bairros atingidos por inundações recorrentes, com danos diretos em mais de 12.000 edificações e prejuízos financeiros superiores a R$ 280 milhões (Prefeitura do Recife, 2022). O principal fator identificado foi a insuficiência hidráulica das galerias existentes, associada à elevação do lençol freático e à impermeabilização crescente.

Além dos prejuízos diretos, há efeitos indiretos como contaminação da água, degradação da qualidade ambiental e risco à saúde pública. Segundo estudo de Souza et al. (2021), bairros sujeitos a alagamentos frequentes apresentaram aumento de 38% nos casos de doenças de veiculação hídrica, como leptospirose e hepatite A.

2.4. A Necessidade de Planejamento Resiliente

Diante das evidências, torna-se indispensável a reformulação dos sistemas de drenagem urbana com base em princípios de resiliência climática. Isso envolve a incorporação de dados atualizados de precipitação, modelagens hidrológicas com cenários climáticos futuros e integração com soluções baseadas na natureza.

O conceito de drenagem urbana sustentável (Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS) emerge como uma resposta eficaz, promovendo a retenção, infiltração e reuso das águas pluviais no próprio local onde precipitam, diminuindo o volume de escoamento superficial e restaurando o ciclo hidrológico urbano (Fletcher et al., 2015).

Além disso, estratégias como pavimentos permeáveis, jardins de chuva, reservatórios de detenção e reabilitação de áreas verdes urbanas têm se mostrado eficientes na mitigação dos impactos da variabilidade climática, conforme apontado por Martinelli e Castro (2020) em estudo realizado em Curitiba (PR), que implementou infraestrutura verde em 12 bairros e reduziu em 53% os alagamentos nas áreas tratadas.

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

Estratégias Sustentáveis e Tecnológicas para Drenagem Urbana Resiliente

3.1. A Transição de Modelos Convencionais para Sistemas Sustentáveis

A crescente frequência e intensidade dos fenômenos hidrológicos extremos exige que os sistemas urbanos de drenagem superem os paradigmas tradicionais e incorporem abordagens mais integradas e adaptativas. A drenagem urbana sustentável (DUS) surge como uma alternativa ao modelo fast-drainage, ao buscar equilibrar os fluxos hídricos por meio da retenção, infiltração e evapotranspiração da água da chuva nas áreas urbanizadas (CIRIA, 2020).

Segundo Baptista et al. (2018), os sistemas sustentáveis oferecem benefícios não apenas hidráulicos, mas também ambientais, sociais e econômicos. A sua aplicação tem sido recomendada por organismos internacionais como a Organização das Nações Unidas (ONU-Habitat, 2022) e a União Europeia, dentro do contexto de cidades resilientes ao clima.

3.2. Soluções Baseadas na Natureza

As Soluções baseadas na Natureza, são intervenções que utilizam os processos naturais dos ecossistemas para enfrentar desafios urbanos, como o escoamento superficial excessivo. No campo da drenagem, destacam-se intervenções como:

- Jardins de chuva: áreas vegetadas projetadas para captar e infiltrar águas pluviais de pequenas chuvas, promovendo recarga do lençol freático.
- Telhados verdes: reduzem o volume e a velocidade de escoamento, além de melhorar o conforto térmico das edificações.
- Pavimentos permeáveis: permitem a percolação da água da chuva para camadas inferiores do solo, reduzindo o runoff superficial.
- Bacias de detenção e retenção: armazenam temporariamente a água da chuva, liberando-a gradualmente no sistema de drenagem.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

Estudos de Li et al. (2021) demonstram que a implementação combinada de telhados verdes e jardins de chuva em uma zona urbana de Pequim reduziu em 38% o volume de escoamento superficial e em 62% os picos de vazão, comparado ao sistema convencional.

No Brasil, um estudo conduzido por Lima et al. (2022) em Campinas (SP) simulou cenários de implantação de bacias de retenção e pavimentos permeáveis, indicando uma redução média de 45% nas vazões de pico para chuvas com tempo de retorno de 25 anos.

3.3. Tecnologias Digitais para Previsão e Monitoramento

A transformação digital tem contribuído significativamente para o aprimoramento da gestão da drenagem urbana. Ferramentas como sensores IoT (Internet das Coisas), estações meteorológicas automáticas e plataformas de modelagem hidrodinâmica permitem o monitoramento em tempo real dos sistemas de drenagem e a previsão de alagamentos com alta acurácia (Silva et al., 2023).

Além disso, softwares de simulação como o SWMM (Storm Water Management Model) e o HEC-HMS têm sido amplamente utilizados para prever o comportamento hidráulico de bacias urbanas frente a cenários de mudanças climáticas. Segundo Oliveira e Manso (2021), o uso combinado dessas ferramentas com modelos climáticos regionais (RCMs) permitiu à cidade de Florianópolis redimensionar 18 km de galerias pluviais críticas, reduzindo em 71% as ocorrências de alagamento registradas entre 2015 e 2020.

A implementação de Sistemas de Alerta Precoce também tem sido recomendada para mitigar impactos imediatos em áreas de risco, fornecendo informações à população por meio de aplicativos ou mensagens automáticas, como já ocorre em cidades como Porto Alegre, Recife e Rio de Janeiro (ANA, 2022).

3.4. Planejamento Urbano Integrado e Participativo

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

O enfrentamento das consequências das mudanças climáticas no contexto urbano demanda não apenas soluções técnicas, mas também políticas públicas eficazes e integração intersetorial. A drenagem deve ser tratada dentro de uma abordagem de planejamento urbano integrado, associada ao ordenamento territorial, gestão de resíduos sólidos, habitação e mobilidade urbana.

Segundo Brandão et al. (2021), o planejamento participativo é essencial para a sustentabilidade das soluções implementadas. A inclusão da comunidade na concepção e manutenção de sistemas sustentáveis de drenagem favorece a apropriação social dos espaços urbanos e a conservação das infraestruturas.

Cidades como Curitiba (PR), São Bernardo do Campo (SP) e Joinville (SC) já aplicam ferramentas como os Planos Diretores de Drenagem Urbana Sustentável, incorporando mapeamento de áreas de risco, análise de cenários climáticos e programas educativos voltados à conscientização ambiental.

Estudo de Caso: Belo Horizonte – MG

4.1. Caracterização Urbana e Climática

Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, possui cerca de 2,3 milhões de habitantes e área urbana aproximada de 331 km². O clima predominante é tropical de altitude, com estação chuvosa bem definida entre outubro e março. A precipitação média anual é de 1.400 mm, podendo ultrapassar os 100 mm em eventos de curta duração (INMET, 2023).

A cidade apresenta topografia acidentada, grande parte impermeabilizada (mais de 50% da área urbana) e um histórico recorrente de enchentes e alagamentos. Segundo a Defesa Civil de BH (2022), entre 2012 e 2022 ocorreram mais de 400 episódios de alagamentos, alguns com vítimas fatais, especialmente nos bairros Lagoinha, Nova Suíça, Centro-Sul e região da Av. Vilarinho.

4.2. Desafios Hidrológicos e Impacto das Mudanças Climáticas

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

De acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte (PDDU-BH, 2020), as mudanças climáticas tendem a intensificar eventos extremos. Projeções indicam aumento da frequência de chuvas intensas com TR (tempo de retorno) de 25 e 50 anos.

A infraestrutura tradicional da cidade (galerias subterrâneas e canais retificados) tem capacidade limitada e foi projetada para eventos menos severos, tornando-se insuficiente frente ao novo regime pluviométrico.

4.3. Soluções Sustentáveis Adotadas

A Prefeitura de BH tem investido, desde 2015, em **Infraestruturas Verdes**, com foco em soluções descentralizadas e baseadas na natureza. Os principais projetos incluem:

- Parques urbanos com função de retenção e infiltração, como o Parque Linear Ribeirão do Onça;
- Reservatórios de detenção subterrâneos, como o da Praça da Savassi (capacidade: 6.000 m³);
- Jardins de chuva implantados em calçadas nos bairros Buritis e Funcionários;
- Plano de implantação de pavimentos permeáveis em 25 escolas municipais.

Essas ações reduziram a pressão sobre os sistemas de drenagem, contribuindo para a diminuição de alagamentos em regiões críticas.

Segundo a Secretaria de Obras (2023), os investimentos totais superam R$ 230 milhões e os dados operacionais apontam redução de até 60% nas vazões de pico em áreas com intervenções.

Além disso, a cidade lançou o sistema AlertaBH, que envia notificações via SMS e aplicativo sobre riscos de alagamento, permitindo respostas mais rápidas da população e da Defesa Civil.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4062

Considerações Finais

As mudanças climáticas impõem desafios crescentes à gestão da drenagem urbana, exigindo estratégias resilientes, adaptativas e sustentáveis. Como demonstrado no estudo de caso de Belo Horizonte, o aumento da intensidade das chuvas, aliado à alta impermeabilização das cidades, agrava os riscos de inundações, danos materiais e perdas humanas.

O caso de BH mostra que a transição de sistemas tradicionais para soluções baseadas na natureza é viável e eficaz. A combinação entre infraestrutura verde, reservatórios de contenção e monitoramento inteligente trouxe resultados positivos, tanto em termos hidrológicos quanto sociais e ambientais.

Contudo, os investimentos em drenagem sustentável ainda são insuficientes na maioria das cidades brasileiras. Falta planejamento de longo prazo, capacitação técnica e, principalmente, integração entre setores da gestão urbana.

É fundamental que engenheiros, gestores públicos e a sociedade reconheçam a drenagem urbana como um elemento essencial da adaptação climática. A adoção de práticas sustentáveis, desde o projeto até a operação e manutenção, contribui para a construção de cidades mais seguras, habitáveis e ambientalmente equilibradas.

Portanto, este trabalho conclui que a implementação de soluções sustentáveis em drenagem urbana é não apenas necessária, mas urgente, diante da intensificação dos eventos extremos causados pelas mudanças climáticas. Investir em drenagem verde é, acima de tudo, investir em vida, segurança e futuro urbano.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – 2023*. Brasília: ANA, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Sistemas de*

Alerta Precoce: Experiências em capitais brasileiras. Brasília: ANA, 2022.

ALLAN, R. P.; SODEN, B. J.; JOHANSSON, D. J. A. The Clausius-Clapeyron relation and the response of tropical precipitation extremes to warming. *Nature Climate Change*, v. 10, p. 87–92, 2020.

BAPTISTA, M. B.; ZIMMERMANN, S. K.; PELISSARI, M. A.; OLIVEIRA, F. C. A drenagem urbana sustentável e sua aplicação no Brasil: revisão e desafios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 23, p. e13, 2018.

CIRIA – Construction Industry Research and Information Association. *The SuDS Manual (C753)*. London: CIRIA, 2020.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Indicadores de sustentabilidade urbana: vulnerabilidade ambiental nas cidades brasileiras*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. *Boletim Climatológico Anual – 2023*. Brasília: INMET, 2023.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Sixth Assessment Report (AR6): Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Geneva: IPCC, 2023.

LI, J.; WANG, X.; ZHANG, Y. Combined application of green infrastructure to control urban stormwater runoff: A case study in Beijing. *Journal of Environmental Management*, v. 294, p. 112–153, 2021.

LIMA, A. S.; FERREIRA, R. M.; AMORIM, T. A. Avaliação da eficiência de técnicas compensatórias em drenagem urbana: estudo de caso em Campinas – SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 27, n. 1, p. 1–13, 2022.

MARENGO, J. A. et al. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil: evidências e projeções. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 26, p. 1–16, 2020.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Alterações no regime de chuvas intensas no Brasil: evidências e implicações para a drenagem urbana. *Clima e Desenvolvimento*, v. 4, n. 2, p. 35–49, 2021.

MARTINELLI, C. M.; CASTRO, D. R. Infraestrutura verde como solução para drenagem urbana: estudo de caso em Curitiba. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 2, p. 269–276, 2020.

OLIVEIRA, J. B.; MANSO, V. A. Simulação hidrodinâmica de bacias urbanas sob cenários de mudanças climáticas em Florianópolis. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 35, p. 1–12, 2021.

PINA, R. A.; FONSECA, A. R.; NUNES, M. A. Avaliação da capacidade de escoamento em microbacias urbanas de Belo Horizonte sob cenários futuros. *Revista Ambiente Construído*, v. 20, n. 3, p. 55–70, 2020.

PREFEITURA DO RECIFE. *Relatório Anual da Defesa Civil – 2022*. Recife: Prefeitura do Recife, 2022.

PRIGIOBBE, V.; LIMA, R. R.; PEREIRA, L. H. A drenagem urbana tradicional e os desafios impostos pelas mudanças climáticas. *Revista Engenharia e Sustentabilidade*, v. 8, n. 2, p. 112–121, 2019.

REIS, G. A.; GOMES, A. L. A drenagem urbana em municípios da Baixada Fluminense: um estudo de caso em Nova Iguaçu. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 20, n. 1, p. 45–57, 2022.

SILVA, F. L.; BARROS, J. C.; LOPES, M. R. Monitoramento e previsão de enchentes em tempo real com tecnologias digitais. *Revista Brasileira de Cidades Inteligentes*, v. 4, n. 1, p. 99–113, 2023.

SOUZA, D. S.; MOURA, C. A.; LIMA, H. T. Alagamentos urbanos e doenças de veiculação hídrica: um estudo correlacional. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 37, n. 2, p. e00194220, 2021.

TUCCI, C. E. M. *Drenagem Urbana*. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2017.

ONU-HABITAT. *Relatório Mundial das Cidades: Cidades e Mudanças Climáticas*. Nairobi: UN-Habitat, 2022.