MODELAGEM HIDROLÓGICA E MITIGAÇÃO DE CHEIAS URBANAS: ESTUDO DE CASO DO RIACHO DO MACACO, ITAPIPOCA-CE

Larissa Alves Dias Azevedo [1] ; Iran Eduardo Lima Neto [2]

Palavras-Chave – HEC-HMS; Drenagem Sustentável; Soluções Baseadas na Natureza.

INTRODUÇÃO

A expansão da urbanização em cidades brasileiras tem intensificado a impermeabilização do solo e reduzido a capacidade de infiltração das bacias hidrográficas urbanas. Somada a isso, a ocupação desordenada, principalmente nas áreas ribeirinhas, modifica o comportamento hidrológico, elevando o escoamento superficial e aumentando a ocorrência de alagamentos (TUCCI, 2007).

No semiárido brasileiro, esse processo é agravado pelo regime climático, o qual concentra chuvas em poucos meses do ano, com elevada intensidade em curtos intervalos de tempo. Inserida nessas condições, a sede de Itapipoca é atravessada pelo Riacho do Macaco, que apresenta episódios de extravasamento durante eventos de precipitação intensa. Segundo o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), existem registros relacionados a chuvas intensas, alagamentos e inundações no município, evidenciando a vulnerabilidade da região aos eventos hidrológicos extremos (BRASIL, 2026).

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN), como jardins de chuva, biovaletas, pavimentos permeáveis e áreas de biorretenção, constituem estratégias promissoras para reduzir o escoamento superficial e os picos de vazão. Entretanto, ainda são escassos estudos que quantifiquem sua eficiência em bacias urbanas do semiárido brasileiro, especialmente por meio de modelagem hidrológica.

Assim, este trabalho teve por objetivo modelar a bacia do Riacho do Macaco, localizada na sede urbana de Itapipoca, avaliando a ocorrência de extravasamentos do canal para os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos, além de analisar a implantação de diferentes cenários de Soluções Baseadas na Natureza como estratégia de mitigação de cheias.

METODOLOGIA

O estudo focou na bacia do Riacho do Macaco, localizada na zona urbana da cidade de Itapipoca, estado do Ceará, inserida na Região Hidrográfica do Litoral (COGERH, 2022). A bacia apresenta uso e ocupação do solo predominantemente urbano, com pequenas manchas de vegetação remanescente, concentradas nas áreas periféricas (Figura 1). A caracterização morfométrica foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS PALSAR, com resolução espacial de 12,5 m. A escolha do ponto de exutório do estudo corresponde a um ponto de transição da seção natural do Riacho do Macaco para seção fechada em galerias de concreto armado. A partir dessa definição, por meio do software HEC-HMS, foi desenvolvido um modelo hidrológico representativo das condições da bacia hidrográfica, discretizando-a em sub-bacias de drenagem e trechos de propagação.

1) Afiliação: Times New Roman, 8 pt, instituição e e-mail
2) Afiliação: Times New Roman, 8 pt, instituição e e-mail

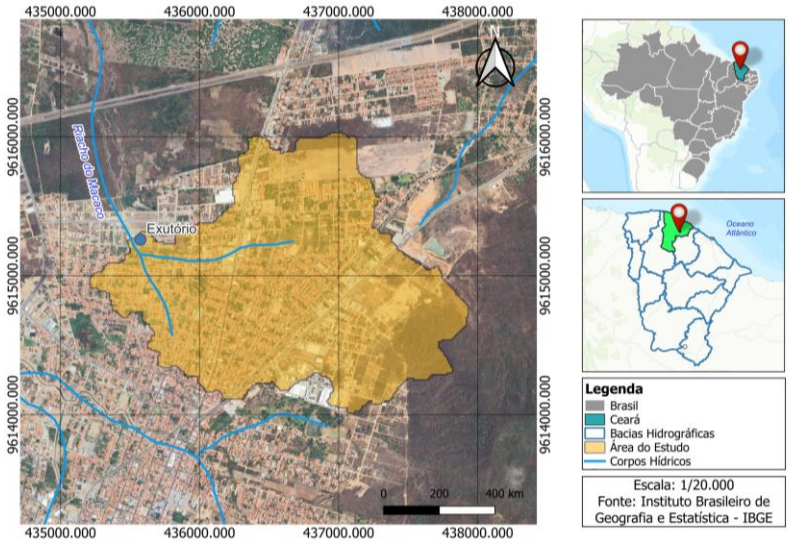


Figura 1 – Área de drenagem do Riacho do Macaco na sede de Itapipoca-CE. Fonte: Autores, 2026.

Para cada sub-bacia foram obtidos os parâmetros morfométricos de área, declividade e comprimento do talvegue. De posse dessas informações, foi calculado o tempo de concentração, por meio da equação de Kirpich, e definido o caminho hidráulico crítico da bacia, o mais longo até o exutório.

A chuva de projeto foi construída pelo Método dos Blocos Alternados (Chow et al., 1988), a partir da equação IDF de Itapipoca, desenvolvida por Batista et al., (2025). A modelagem hidrológica empregou: o método SCS Curve Number para perdas; o SCS Unit Hydrograph como método de transformação chuva-vazão, com lag time por sub-bacia calculado a partir do tempo de concentração; e o Muskingum-Cunge para propagação do escoamento nos trechos. Ademais, assumiu-se o valor de n = 0,035 para o coeficiente de Manning, indicado para canais naturais com vegetação.

Inicialmente foram simulados os cenários correspondentes às condições atuais da bacia para os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos, obtendo-se os hidrogramas e as vazões de pico no exutório. Em seguida, avaliou-se o efeito da implantação de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) por meio da redução ponderada do Curve Number, em 10% e 20% da área da bacia. O valor de referência para o CN utilizado para SBNs foi de 55, correspondente a campos permanentes de alta transpiração (Santos e Lollo, 2016).

As vazões de pico simuladas no exutório foram comparadas com a capacidade hidráulica do canal principal, estimada pela equação de Manning, para seção retangular de 5,00 m de largura e 1,90 m de altura, com n = 0,035 e declividade média de 0,0045 m/m.

RESULTADOS

A bacia de contribuição foi delimitada e discretizada em cinco subáreas (S1, S2, S3, S4 e S5) e dois trechos de propagação, R1 e R2. A Tabela 1 sintetiza os principais parâmetros morfométricos, incluindo tempo de concentração (Tc), tempo de pico (Tp) e Curve Number (CN) de cada sub-bacia.

Tabela 1 – Parâmetros morfométricos das sub-bacias de drenagem do Riacho do Macaco

Sub-bacia	Área (km²)	Comprimento Talvegue (km)	Declividade (m/m)	Tc (min)	Tp (min)	CN atual
S1	1,3803	2,73	0,0563	26,12	15,67	76,60
S2	0,637	1,88	0,0133	34,18	14,97	77,30
S3	0,153	0,72	0,0166	15,02	20,51	77,30
S4	0,082	0,58	0,0191	11,96	7,18	75,30
S5	0,849	2,67	0,0605	24,96	9,01	77,40

De acordo com a configuração da bacia, o caminho S1→R2→R1 foi o mais crítico e resultou em um tempo de concentração de 42,62 minutos. A duração da chuva de projeto foi definida em 60 min, com discretização em passos de tempo Δt = 5 min. Os hietogramas gerados pelo Método dos Blocos Alternados para os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos são apresentados na Figura 2.

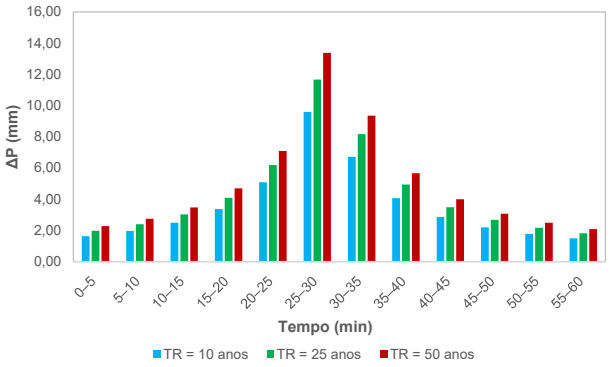


Figura 2 – Hietogramas de Projeto — TR = 10, 25 e 50 anos. Fonte: Autores, 2026.

A capacidade hidráulica do canal principal, estimada pela equação de Manning, foi de 19,19 m³/s. As vazões máximas simuladas para as condições atuais da bacia são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Vazões de pico e verificação da capacidade hidráulica do canal principal

Cenário	Vazão de pico (m³/s)	Excede a capacidade?
TR = 10 anos	10,20	Não
TR = 25 anos	16,50	Não
TR = 50 anos (CN atual)	22,50	Sim (~17% acima)

Diante do extravasamento identificado para TR = 50 anos, avaliou-se o efeito da implantação de SBN em 10% e 20% da área da bacia. A introdução dessas soluções reduziu a vazão de pico para 19,30 m³/s e 16,40 m³/s, respectivamente, o que corresponde a reduções de 14,2% e 27,1% em relação ao cenário sem SBN (Figura 3). Esses resultados são compatíveis com os obtidos por Agarwal et al. (2024), que avaliaram o uso de SBN em uma bacia urbana, com 32 sub-bacias, e observaram reduções entre 24,9% e 81,0% na vazão máxima.

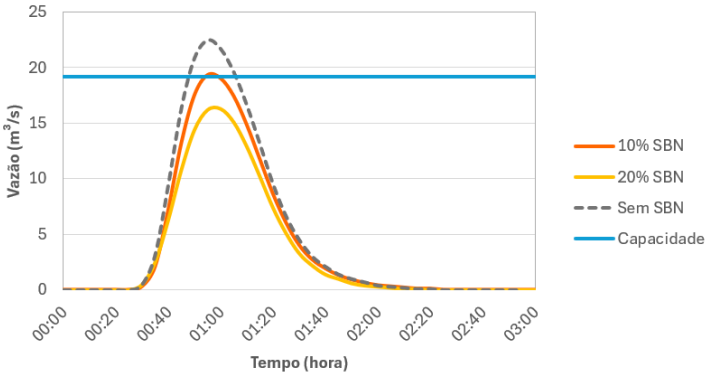


Figura 3 – Hidrogramas simulados para o cenário atual e cenários com implantação de SBN. Fonte: Autores, 2026.

Além da redução da vazão de pico, observa-se que os cenários com SBN preservaram a forma geral do hidrograma, promovendo principalmente a atenuação do pico de cheia sem alterações significativas na duração do evento hidrológico.

CONCLUSÕES

A modelagem hidrológica da bacia do Riacho do Macaco permitiu avaliar o comportamento das vazões de projeto para diferentes tempos de retorno, identificando que apenas o cenário de TR = 50 anos ultrapassa a capacidade hidráulica do canal analisado, indicando provável ocorrência de extravasamento.

Os cenários com implementação SBN demonstraram potencial para mitigação das cheias urbanas, gerando uma redução de cerca de 27% na vazão de pico, na condição de 20% da área da bacia com infraestrutura sustentável.

Os resultados reforçam que a integração entre modelagem hidrológica e estratégias de drenagem sustentável constitui uma ferramenta útil para o planejamento urbano em cidades do semiárido, subsidiando a priorização de intervenções capazes de aumentar a resiliência frente aos eventos extremos.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, D. S.; BHARAT, A.; KJELDSEN, T. R.; ADEYEYE, K. (2024). "*Assessing impact of nature based solutions on peak flow using HEC-HMS*". Water Resources Management, v. 38, p. 1125–1140.

BATISTA, T. L.; LOPES, M. C.; LIMA NETO, V. S.; TAVARES, P. R. L. (2025). "*Equações IDF dos municípios cearenses geradas a partir de dados pluviométricos*". Revista Brasileira de Geografia Física, v. 18, n. 1, p. 702–722.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2026). *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD*. Brasília/DF. Disponível em: https://s2id.mi.gov.br/. Acesso em: 04 jul. 2026.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill, New York/USA, 572 p.

COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – COGERH (2022). *Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Litoral*. Governo do Ceará, Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, Fortaleza/CE. Disponível em: https://portal.cogerh.com.br/plano-de-recursos-hidricos-da-regiao-do-litoral/. Acesso em: 04 jul. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE (2017). *Perfil Municipal 2017: Itapipoca*. Governo do Ceará, Secretaria do Planejamento e Gestão, Fortaleza/CE. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Itapipoca_2017.pdf . Acesso em: 04 jul. 2026.

SANTOS, F. M. dos; LOLLO, J. A. de (2016). "*Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano*". Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 4, p. 663–675. DOI: 10.1590/S1413-41522016130053.

TUCCI, C. E. M. (2007). *Inundações Urbanas*. ABRH/RHAMA, Porto Alegre/RS, 393 p

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.