



CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INUNDAÇÃO NA BACIA DO MARANGUAPINHO, FORTALEZA-CE

Mariana Silva Feijó¹
Davi Rodrigues Rabelo²
Yasmin Cavalcante Winck do Amaral³

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial de inundação da bacia do Maranguapinho, por meio do cálculo do tempo de retorno de eventos extremos e da estimativa da vazão de pico, com base em dados hidrológicos e morfométricos. A abordagem metodológica adotada fundamenta-se na análise probabilística de eventos extremos, conforme proposto por Nogueira et al. (2016), integrando dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite e Modelos Digitais de Elevação) com registros pluviométricos de postos fornecidos pela FUNCEME, abrangendo o período de 1992 a 2024. Diante disso, os resultados mostram que a bacia possui área de drenagem de 213,869 km², com comprimento do canal principal de 47.016 metros e declividade média de 0,7%. O tempo de concentração (T_c) foi estimado em 7,48 horas, e a precipitação máxima diária média registrada foi de 184,9 mm. A intensidade corrigida da chuva alcançou 331,79 mm/h, resultando em uma vazão de pico de 15.707 m³/s e volume escoado de 31.590.213 m³. O tempo de retorno do evento foi estimado em 34 anos, correspondente a uma probabilidade anual de 2,94% do mesmo evento ocorrer ou ser superado. Os resultados indicam uma resposta hidrológica moderadamente lenta, típica de grandes bacias, mas com alta propensão a transbordamentos, agravada pela baixa declividade e deficiências na infraestrutura urbana. O estudo reforça a importância de estratégias preventivas de ordenamento territorial e gestão de risco baseadas em dados hidrológicos.

INTRODUÇÃO

As áreas urbanas situadas em bacias hidrográficas têm apresentado vulnerabilidades crescentes frente à intensificação dos eventos de inundação, processo agravado pela impermeabilização dos solos, ocupação desordenada e alterações nos sistemas naturais de drenagem (Do Amaral, 2020). Estudos recentes sobre drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Brasil destacam como a dinâmica do escoamento superficial em bacias hidrográficas urbanas é diretamente influenciada pela expansão

¹ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, mariana.feijo@aluno.uece.br ;;

² Professor orientador: Dr. Davi Rodrigues Rabelo, Universidade Estadual do Ceará - UECE, rodrigues.rabelo@uece.br ;

³ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, yasmin.winck@aluno.uece.br;



urbana não planejada, que compromete o equilíbrio hidrológico e aumenta a vulnerabilidade a inundações (Tucci, 2024). Adicionalmente, a degradação ambiental e a alteração da qualidade da água em nascentes de rios urbanos, conforme evidenciado em nos estudos de Garcia (2018), reforçam que a expansão urbana não planejada intensifica processos erosivos e aumenta os riscos ambientais, corroborando a vulnerabilidade crescente dessas áreas.

A urbanização desordenada, caracterizada pela ocupação do solo sem planejamento adequado e pela supressão da vegetação nativa, promove transformações significativas no regime hidrológico das bacias urbanas (Jovino et al, 2022). Conforme destaca Benini (2015), esse processo está frequentemente associado à substituição de ambientes naturais ou seminaturais por superfícies impermeáveis, como pavimentos e construções, o que compromete a dinâmica natural da drenagem urbana. O direcionamento inadequado das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'água e canais de drenagem acarreta aumento do escoamento superficial e redução da recarga dos aquíferos, afetando diretamente o equilíbrio do ciclo hidrológico (Christofidis et al, 2020). Como consequência, elevam-se os riscos de enchentes, deslizamentos e outros desastres naturais, impactando não apenas o meio físico, mas também a saúde e a segurança da população urbana.

Sob o contexto da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), a Bacia Hidrográfica do Rio Maranguapinho (BRM) se destaca pela sua expressiva importância ambiental, social e urbana. De acordo com a SEUMA (2015), o rio Maranguapinho é o maior afluente do rio Ceará, com mais de 34 km de extensão, nascendo na serra de Maranguape e atravessando os municípios de Maracanaú, Caucaia e Fortaleza até desaguar no rio Ceará. É a segunda maior bacia da RMF, abrangendo aproximadamente 36 bairros e abrigando uma população estimada em 750 mil habitantes, distribuídos em uma área urbanizada de cerca de 7.000 hectares. Contudo, a intensa pressão urbana tem provocado sérias alterações no funcionamento ambiental da bacia. Conforme observado por De Lima (2006), a degradação ambiental desta área resulta de um processo histórico de ocupação desordenada, agravado por processos erosivos intensificados pela impermeabilização do solo e pelo assoreamento das calhas fluviais e bacias lacustres, o que contribui significativamente para o aumento da frequência e intensidade das inundações. Esses impactos revelam a necessidade urgente de políticas públicas



voltadas ao reordenamento do uso do solo, à recuperação ambiental e ao fortalecimento da infraestrutura de drenagem urbana na bacia do Maranguapinho.

Face ao exposto, o presente estudo tem como propósito avaliar o potencial de inundação da bacia por meio da estimativa de parâmetros hidrológicos fundamentais, como o tempo de concentração, a intensidade das precipitações, a vazão de pico e o volume de escoamento superficial. Complementarmente, busca-se calcular o tempo de retorno de eventos extremos, de modo a aprofundar a compreensão sobre o comportamento hidrológico da bacia e contribuir para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação dos impactos das cheias.

METODOLOGIA

A Bacia Hidrográfica do Rio Maranguapinho (Figura 1) está localizada na porção nordeste do Estado do Ceará, integrando a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Sua área de drenagem abrange os municípios de Maranguape, Maracanaú, Caucaia e Fortaleza, configurando-se como uma bacia de expressiva importância ambiental e social no contexto urbano-metropolitano. Com uma extensão aproximada de 213,869 km² e um rio principal com cerca de 47.016 metros de comprimento, a BRM apresenta limites geográficos definidos pelas coordenadas UTM: 544206E/9589177N ao norte, 550443E/9587608N a leste, 536687E/9556784N ao sul e 528580E/9565000N a oeste. O acesso à região é facilitado por importantes rodovias federais e estaduais, como a BR-222, BR-020 e a CE-065, o que contribui para a sua integração à dinâmica urbana da capital cearense e seu entorno.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

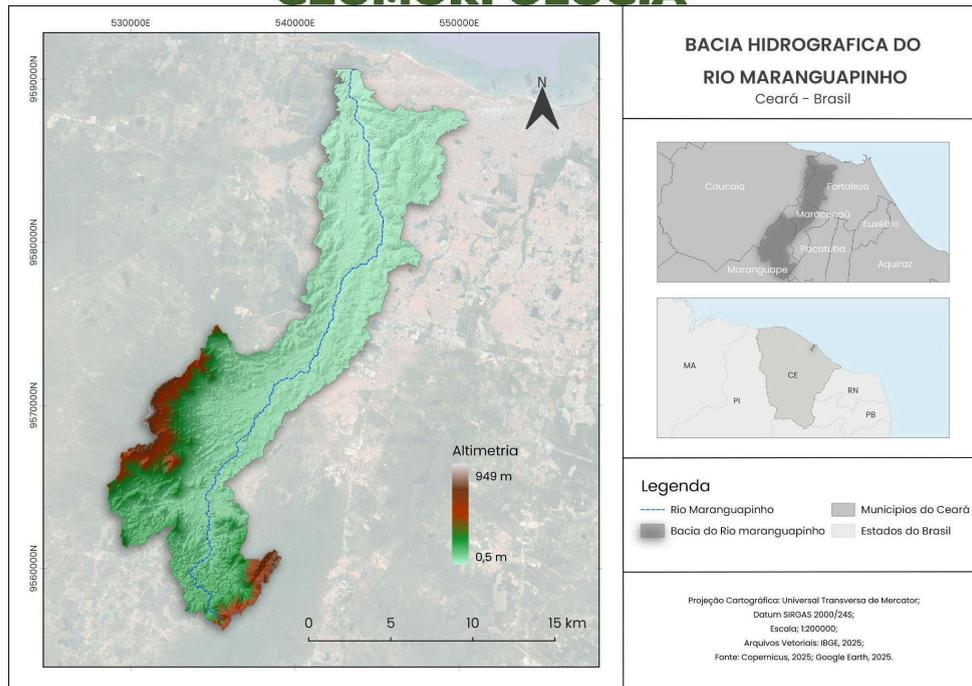


Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia do Rio Maranguapinho
Fonte: Elaborado pelos autores

A estrutura litológica da BRM é predominantemente formada por rochas metamórficas, destacando-se os xistos e gnaisses, pertencentes ao complexo cristalino pré-cambriano. Nos fundos de vale, ocorrem depósitos aluviais de origem quaternária, resultantes da atuação contínua dos processos fluviais ao longo do tempo geológico. Apesar da heterogeneidade das formações rochosas, trata-se de uma superfície de aplainamento, na qual os agentes erosivos atuaram de forma generalizada sobre distintos litotipos, como ressalta Souza (2000). Sob a perspectiva pedológica, Lima (2000) identificou Planossolos nas vertentes de declive moderado a suave, enquanto nas porções residuais mais elevadas são comuns os Litossolos e os afloramentos rochosos, ao passo que os Neossolos flúvicos se distribuem nos fundos de vale, sujeitos à influência direta de inundações periódicas. A cobertura vegetal original, composta por caatinga caducifólia arbustiva e manchas de caatinga arbórea, encontra-se atualmente bastante fragmentada e degradada, resultado das pressões antrópicas associadas à expansão urbana e ao uso intensivo do solo.

Nesse contexto, o histórico de ocupação urbana da BRM revela um processo contínuo de pressão antrópica sobre o ambiente fluvial, marcado por transformações que intensificaram suas vulnerabilidades socioambientais. Conforme aponta De Lima (2006), a partir da década de 1980, as ocupações urbanas começaram a exercer pressões



significativas sobre o rio Maranguapinho e seus principais afluentes. Essas pressões se ampliaram durante a década de 1990, culminando, no início dos anos 2000, em um cenário de degradação ambiental acentuada, caracterizado por múltiplas fontes de impacto ao longo de toda a bacia. Esse avanço desordenado da urbanização contribuiu para o assoreamento dos cursos d'água, a impermeabilização do solo, o descarte irregular de resíduos e o comprometimento da qualidade da água, agravando os riscos de inundações, erosões e prejuízos à saúde pública nas áreas periféricas e mais vulneráveis da Região Metropolitana de Fortaleza.

Com isso, a presente pesquisa foi desenvolvida a partir da delimitação BRM, utilizando técnicas de geoprocessamento, tendo como base o Modelo Digital de Elevação (MDE) do Copernicus DEM, com resolução espacial de 30 metros, amplamente reconhecido por sua acurácia é atualmente considerado o MDE global mais preciso (Bielski et al., 2024). Esse procedimento foi realizado no software ArcGIS, permitindo a obtenção de informações fundamentais, como a área da bacia e o comprimento do curso d'água principal. A utilização de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilitou uma análise espacial minuciosa da morfologia da bacia, aspecto essencial para a compreensão de seu comportamento hidrológico em áreas urbanizadas. Adicionalmente, o levantamento de dados pluviométricos foi efetuado com base na média de três estações monitoradas pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). A série de dados coletada dessas estações foi organizada em uma tabela contendo os registros da chuva máxima anual em um intervalo de 34 anos, de 1992 a 2024, e utilizada nos cálculos hidrológicos, permitindo a estimativa de parâmetros como precipitação total diária, tempo de retorno, intensidade da chuva e vazão de pico. Tais informações foram fundamentais para a análise da resposta hidrológica da bacia frente a eventos extremos, evidenciando as fragilidades decorrentes da intensa urbanização.

A análise hidrológica da bacia teve como base quatro parâmetros principais: precipitação total diária, tempo de concentração, vazão de pico e volume escoado. A partir das informações fornecidas pelos postos pluviométricos analisados, verificou-se uma média de precipitação máxima diária de 184,9 mm, associada a um tempo de retorno de 34 anos, indicando a ocorrência de eventos extremos com baixa frequência, porém com alto potencial de impacto. A duração da precipitação considerada foi de 24 horas, enquanto o tempo de concentração calculado para a bacia foi de 7,48 horas,



apontando uma resposta relativamente rápida do sistema hidrológico diante de chuvas intensas, característica típica de áreas urbanas com elevado grau de impermeabilização. Os procedimentos metodológicos empregados nesta fase foram baseados em cálculos hidrológicos com foco na aplicação de equações de intensidade-duração-frequência (IDF), adaptadas às condições urbanas da bacia. Para a estimativa do tempo de concentração (T_c), parâmetro indispensável ao dimensionamento da resposta hidrológica da bacia diante de eventos extremos, foi utilizada a fórmula de Kirpich (1940) (equação 1):

$$T_c = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (1)$$

Onde:

T_c = Tempo de Concentração (minutos)

L = Comprimento do rio (metros)

S = Declividade (em decimal, porcentagem \div 100)

Em seguida, a intensidade da chuva corrigida (i) foi estimada com base na precipitação máxima diária de 184,9 mm, ajustada ao tempo de concentração calculado (CHOW et al., 1988; TUCCI, 1998), o que permitiu obter uma intensidade significativa de 331,79 mm/h, a partir da equação 2:

$$i = P_{24h} \times \left(\frac{24}{\frac{T_c}{60}} \right)^{0,5} \quad (2)$$

Onde:

i = Intensidade da chuva corrigida (mm/h)

P_{24h} = Precipitação em 24 horas (mm)

Com base nesses dados, foi realizado o cálculo da vazão máxima (Q), em m^3/s , utilizando-se o método racional (COGO, 2005), que leva em consideração a relação entre o coeficiente de escoamento superficial (C), a intensidade da precipitação (i) e a área da bacia (A), expressa em hectares, conforme indicado na equação 3:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{360} \quad (3)$$



A articulação dessas técnicas e fórmulas clássicas, adaptadas ao contexto urbano, permitiu avaliar de forma integrada a dinâmica hidrológica da bacia, evidenciando sua vulnerabilidade a eventos pluviométricos intensos e de rápida resposta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise hidrológica da bacia do rio Maranguapinho revelou um conjunto de indicadores que demonstram sua elevada vulnerabilidade a inundações, sobretudo em contextos de precipitações intensas. A partir da modelagem hidrológica, com base nos dados morfométricos e pluviométricos coletados entre 1992 e 2024, foi possível estimar parâmetros fundamentais para a avaliação do potencial de transbordamento do sistema fluvial. O tempo de concentração (T_c) foi estimado em 7,48 horas, valor que indica uma resposta hidrológica moderadamente lenta, típica de bacias de maior porte com baixa declividade. A precipitação máxima diária média foi de 184,9 mm, enquanto a intensidade corrigida da chuva alcançou 331,79 mm/h, um valor significativamente elevado quando comparado ao critério da Organização Meteorológica Mundial (OMM), que classifica como “chuvas violentas” aquelas superiores a 50 mm/h. Esse dado ressalta o nível crítico dos eventos extremos que atingem a bacia, sobretudo frente à sua limitada capacidade de drenagem.

Com base nesses parâmetros, a vazão de pico foi calculada em 15.707 m³/s, representando o fluxo máximo de escoamento gerado por um evento extremo. O volume escoado estimado foi de 31.590.213 m³, o que evidencia o elevado potencial de formação de lâminas de inundação nas áreas adjacentes ao canal, especialmente nas zonas mais densamente urbanizadas. A estimativa do tempo de retorno do evento hidrológico analisado foi de 34 anos (Figura 2), o que corresponde a uma probabilidade anual de 2,94% de ocorrência. Embora esse valor possa sugerir um intervalo relativamente longo, sua ocorrência representa risco considerável, especialmente diante da combinação entre fatores físicos da bacia, como a declividade média de apenas 0,7%, e os impactos da ocupação urbana desordenada.

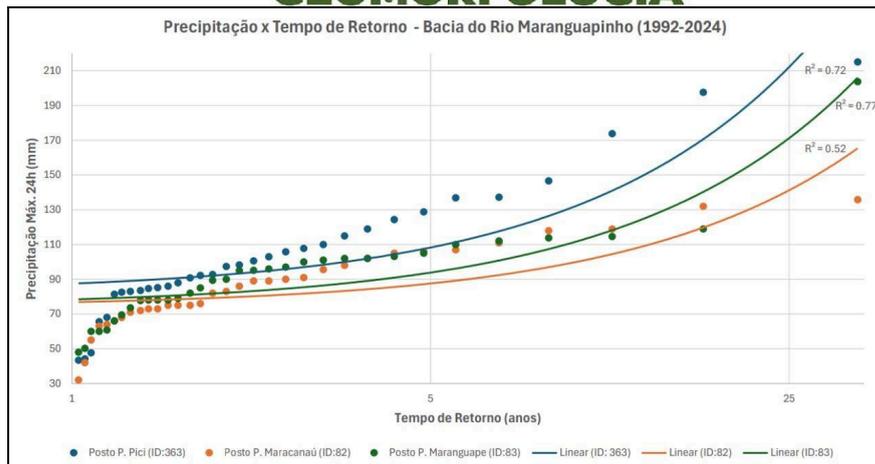


Figura 2 - Gráfico Precipitação Máxima x Tempo de Retorno
Fonte: Elaborado pelos autores

Portanto, a resposta hidrológica da BRM pode ser classificada como moderadamente lenta, conforme indicado pelo tempo de concentração de 7,48 horas, típico de bacias de maior extensão e baixa declividade média (0,7%). Apesar de a resposta não ser imediata, os volumes escoados e as vazões de pico estimadas demonstram uma alta suscetibilidade a inundações, especialmente durante eventos pluviométricos extremos. A baixa declividade do canal principal atua como fator de retenção do escoamento superficial, favorecendo o acúmulo prolongado de água nas margens do leito e contribuindo para a formação de lâminas de inundação. Essa condição aumenta a persistência dos alagamentos e potencializa os danos em áreas urbanas densamente ocupadas.

Ademais, as limitações da infraestrutura urbana de drenagem agravam ainda mais o cenário. Segundo o Instituto Trata Brasil (2025), os sistemas convencionais, muitas vezes ausentes ou subdimensionados, não conseguem conduzir eficientemente os volumes de escoamento gerados, causando transbordamentos frequentes e impactos materiais e sociais recorrentes. Nesse sentido, a vulnerabilidade da bacia resulta da interação entre fatores físicos, como área de drenagem extensa, baixa declividade e tempo de concentração elevado e fatores antrópicos, tais como impermeabilização do solo, ocupação de áreas de várzea, descarte de efluentes e assoreamento progressivo do leito (Almeida, 2010). Importa salientar, ainda, que esse cenário configura-se como fruto de um processo histórico de degradação ambiental, intensificado nas últimas décadas, conforme apontado por De Lima (2006).



Além disso, o padrão de sazonalidade das chuvas na Região Metropolitana de Fortaleza contribui para agravar o quadro de riscos. Cerca de 90% do volume total anual de precipitação se concentra entre março e maio (Almeida, 2010), coincidindo com os maiores registros de desastres naturais. Nesse período, o volume hídrico frequentemente ultrapassa a capacidade de escoamento do sistema, atingindo áreas elevadas da planície fluvial e impactando diretamente as populações ribeirinhas.

Diante desse contexto, torna-se evidente a necessidade de incorporar variáveis hidrológicas ao planejamento urbano, reconhecendo as limitações naturais da bacia como elementos condicionantes para a ocupação do solo. A integração entre dados morfométricos, análises hidrológicas e informações pluviométricas pode subsidiar políticas públicas eficazes voltadas à redução de riscos, à proteção das áreas de várzea, à ampliação da infraestrutura verde e ao controle do crescimento urbano em áreas vulneráveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vulnerabilidade da bacia do rio Maranguapinho é resultado direto da interação entre suas características hidromorfológicas e o processo intenso e desordenado de urbanização. A baixa declividade do canal, combinada à ocupação irregular das margens e à ausência de infraestrutura adequada de drenagem, favorece a recorrência e a persistência de alagamentos, evidenciando uma dinâmica de risco que se renova a cada evento extremo. Neste contexto, o diagnóstico hidrológico da bacia assume papel central na formulação de estratégias de ordenamento territorial e gestão de riscos. A análise integrada de parâmetros físicos, morfométricos e dados pluviométricos permite não apenas compreender o comportamento da bacia diante das chuvas intensas, mas também antecipar cenários críticos, subsidiando intervenções mais eficazes. Dessa forma, o presente estudo contribui para a compreensão da dinâmica hidrológica da bacia do Maranguapinho, oferecendo subsídios técnicos para o aprimoramento das políticas públicas de gestão de riscos, ordenamento territorial e adaptação às dinâmicas fluviais em contextos urbanos vulneráveis.

Palavras-chave: Trabalho completo; Normas científicas, Congresso, Realize, Boa sorte.



REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho**. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2010.
- BENINI, R. M.; et al. **Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na bacia do Mineirinho**. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 2, p. 211-222, 2015.
- CHRISTOFIDIS, D.; et al. **A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza**. *Saúde em Debate*, v. 43, p. 94-108, 2020.
- DO AMARAL, R.; et al. **A legislação e a gestão para redução de riscos relacionados a inundações no município de São Paulo/SP**. 2020.
- GARCIA, Joice Machado et al. **Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos**. *Sociedade & Natureza*, v. 30, n. 1, p. 228-254, 2018.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo sobre o setor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Brasil**. São Paulo: Instituto Trata Brasil; GO Associados, abr. 2025. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- JOVINO, Estephania Silva et al. **Impactos do uso e cobertura do solo na produção de sedimentos em área de manancial peri-urbano tropical**. *Sociedade & Natureza*, v. 34, p. e64640, 2022.
- SEUMA (Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente). **Plano Municipal de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas do Município de Fortaleza**. Fortaleza: SEUMA, 2015.
- SOUZA, M.J.N. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. In: Lima, L.C.; Morais, J.O.; Souza, M.J.N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli et al. **PROPOSTA DE GOVERNANÇA DA REGULAÇÃO NACIONAL PARA DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO BRASIL**. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 21, n. 2024, 2024.