

MODELAGEM HIDROLÓGICA DE EVENTO EXTREMO NA BACIA DO ALTO TIETÊ SOB DIFERENTES CENÁRIOS DE USO DO SOLO E OPERAÇÃO DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

Gustavo A. Perilo¹; André Simões Ballarin¹; Jamil A. A. Anache¹; Marina Pannunzio Ribeiro²; Marcel Fantin³

RESUMO - As inundações em bacias altamente urbanizadas representam desafios significativos para a gestão de recursos hídricos, especialmente em sistemas complexos como a bacia do Alto Tietê, no sudeste do Brasil. Este estudo avalia a resposta hidrológica da bacia sob diferentes condições de uso do solo e cenários de operação de estruturas hidráulicas durante um evento extremo de precipitação, com foco nos municípios do Consórcio Intermunicipal do Grande ABC. As simulações hidrológicas foram realizadas por meio do software HEC-HMS, com aplicação do método SCS-CN e de uma chuva de projeto com período de retorno de 100 anos. Foram utilizados dados espaciais de Curve Number (CN) fornecidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para representar as condições de uso do solo. Os resultados indicam vazão de pico de aproximadamente $1870 \text{ m}^3/\text{s}$ no ponto de controle definido para o estudo, correspondente ao encontro dos rios Tietê e Pinheiros, em concordância com estudos anteriores. A análise de sensibilidade mostra aumento das vazões de pico com o aumento do CN, o que reforça o papel da urbanização na intensificação das cheias. Apesar do amortecimento promovido pelos reservatórios e pelo bombeamento, eventos extremos ainda superam a capacidade de calha em trechos críticos da região de São Paulo e do Grande ABC, o que indica a persistência do risco de inundação.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica; Bacia do Alto Tietê; Inundações urbanas.

ABSTRACT - Flooding in highly urbanized basins represents a significant challenge for water resources management, especially in complex systems such as the Alto Tietê Basin, in southeastern Brazil. This study evaluates the hydrological response of the basin under different land use conditions and hydraulic infrastructure operation scenarios during an extreme rainfall event, with a focus on the municipalities of the Greater ABC Intermunicipal Consortium, within the São Paulo Metropolitan Area. Hydrological simulations were carried out using the HEC-HMS software, with application of the SCS-CN method and a design storm with a 100-year return period. Spatially distributed Curve Number (CN) data provided by the Brazilian National Water Agency (ANA) were used to represent land use conditions. The results indicate a peak discharge of approximately $1870 \text{ m}^3/\text{s}$ at the study control point, corresponding to the confluence of the Tietê and Pinheiros rivers, in agreement with previous studies. Sensitivity analysis shows an increase in peak discharges with increasing CN values, which reinforces the role of urbanization in flood intensification. Despite the attenuation promoted by reservoirs and pumping, extreme events still exceed channel capacity in critical reaches of the São Paulo Metropolitan Region, which indicates the persistence of flood risk.

Keywords: Hydrological modeling; Alto Tietê Basin; Urban flooding.

¹Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo, CxP. 359, São Carlos-SP, 13566-590. Email: perilogustavo@usp.br, andre.ballarin@usp.br, jamil.anache@usp.br

²Faculdade de Tecnologia de Votorantim (Fatec Votorantim), Av. Juscelino Kubitschek de Oliveira, 279, Bairro Protestantes, Votorantim-SP, CEP: 18110-008. Email: marina.ribeiro@cps.sp.gov.br

³Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU), Universidade de São Paulo, Av. do Trabalhador Sancarlense, 400, São Carlos-SP, CEP: 13566-590. Email: mfantin@sc.usp.br

INTRODUÇÃO

A região do Grande ABC, composta pelos municípios de Diadema, São Bernardo do Campo, Santo André, São Caetano do Sul, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e Mauá, caracteriza-se por um grande adensamento urbano e enfrenta frequentemente episódios de inundações, que impactam diretamente a dinâmica social, econômica e ambiental local. Em 2026, o Consórcio Intermunicipal do Grande ABC, que desde 2025 inclui também a cidade de São Paulo, deu início ao desenvolvimento de um novo plano regional de micro e macrodrenagem. Em 2025, o governo do Estado de São Paulo aprovou mais de R\$12 milhões do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) para projetos de drenagem do Grande ABC, após um aporte de R\$ 42,8 milhões nos últimos dois anos para a mesma região, evidenciando a natureza crítica dos problemas de ordem hidrológica enfrentados por esses municípios.

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (UGRHI 6) abrange toda essa área e apresenta elevada complexidade hidrológica, decorrente da presença de obras hidráulicas, como as represas Guarapiranga e Billings e o sistema de reversão de fluxo do Rio Pinheiros, bem como da intensa ocupação do solo. Em termos climáticos, a bacia apresenta elevados índices de precipitação, com valores entre 1.800 e 3.000 mm nas regiões próximas à Serra do Mar, em função da influência da umidade oceânica, e cerca de 1.400 mm na média anual da bacia (Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, 2009).

Segundo Pontes et al. (2015), modelos hidrológicos são ferramentas eficazes para representar os processos físicos do ciclo hidrológico, como a transformação de chuva em vazão e a propagação de cheias na rede de drenagem, sendo amplamente aplicados no estudo de inundações. Dentre eles, destaca-se o HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), uma das ferramentas mais utilizadas em simulações hidrológicas (USACE, 2026).

Entre os métodos empregados na modelagem hidrológica, o SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number) destaca-se pela ampla aplicação na estimativa do escoamento superficial. No entanto, sua utilização em bacias urbanas de grande porte depende de uma representação adequada do uso e ocupação do solo, especialmente em função da heterogeneidade das superfícies urbanas. Nesse contexto, a recente disponibilização de dados de Curve Number (CN) em escala nacional, elaborados para as condições brasileiras, como os fornecidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), tem possibilitado avanços na aplicação do método, ao permitir maior detalhamento da variabilidade hidrológica (ANA, 2025). Ainda assim, permanecem limitados os estudos que integram esses dados à modelagem hidrológica de sistemas hidráulicos complexos e à avaliação de diferentes cenários operacionais em bacias urbanas brasileiras.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a resposta hidrológica da Bacia do Alto Tietê, com ênfase na região do Consórcio Intermunicipal do Grande ABC, sob diferentes condições de uso do solo e cenários de operação de estruturas hidráulicas durante um evento extremo de precipitação com período de retorno de 100 anos. Para isso, foram realizadas simulações hidrológicas por meio do modelo HEC-HMS, com aplicação do método SCS-CN e utilização de dados

de CN em escala nacional disponibilizados pela ANA. Adicionalmente, foram conduzidas análises de sensibilidade à variação do CN, bem como a avaliação do papel das estruturas hidráulicas e do sistema de bombeamento na modulação das vazões de pico.

METODOLOGIA

Base de Dados

O presente estudo utilizou como principal dado de entrada o Modelo Digital de Terreno (MDT) ANADEM, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) em parceria com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS), com resolução espacial de 30 metros. A escolha desse produto deve-se ao fato de se tratar de um modelo elaborado no contexto nacional, considerando as especificidades hidrológicas e topográficas do território brasileiro. O MDT constitui a base para a representação física da bacia hidrográfica, sendo utilizado tanto na caracterização do relevo e na elaboração do mapa hipsométrico quanto na definição dos elementos hidrológicos empregados na modelagem. As etapas de correção de depressões espúrias, de modo a garantir a consistência hidrológica do modelo, bem como a extração da rede de drenagem, foram realizadas no ambiente do HEC-HMS, conforme descrito na seção de modelagem hidrológica. A representação hipsométrica da área de estudo, com a rede de drenagem sobreposta, é apresentada na figura 1:

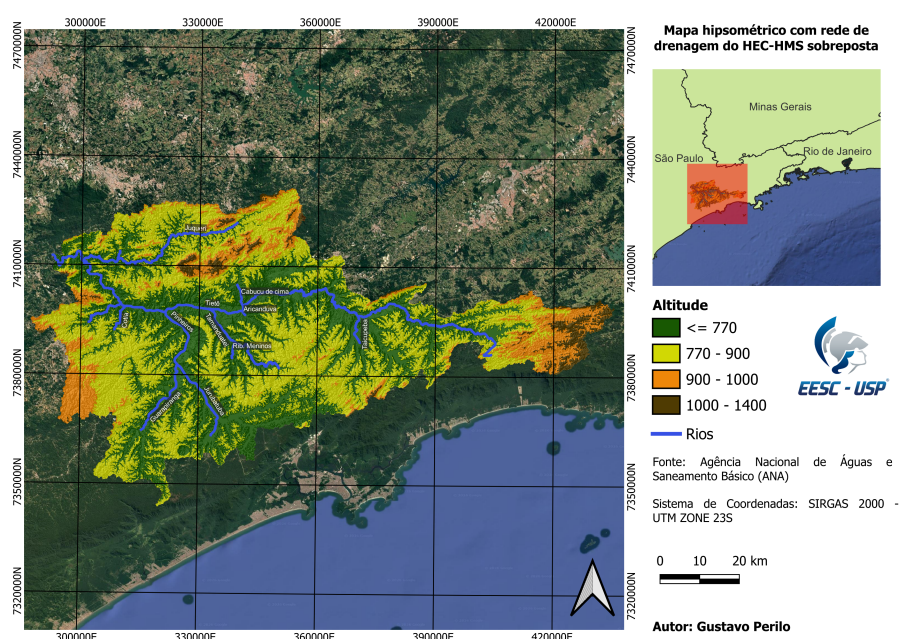


Figura 1: Mapa Hipsométrico com Rede de Drenagem do Modelo Sobreposta
Fonte: Autor

Para a estimativa do escoamento superficial, foi utilizado o raster de Curve Number (CN) de resolução espacial de 30 metros disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), elaborado a partir da integração de informações de uso e ocupação do solo e características dos solos brasileiros. Esse produto permite representar espacialmente a capacidade de infiltração e

geração de escoamento na bacia, constituindo um insumo fundamental para a aplicação do método SCS-CN. A distribuição dos valores de CN na área de estudo é apresentada na Figura 2:

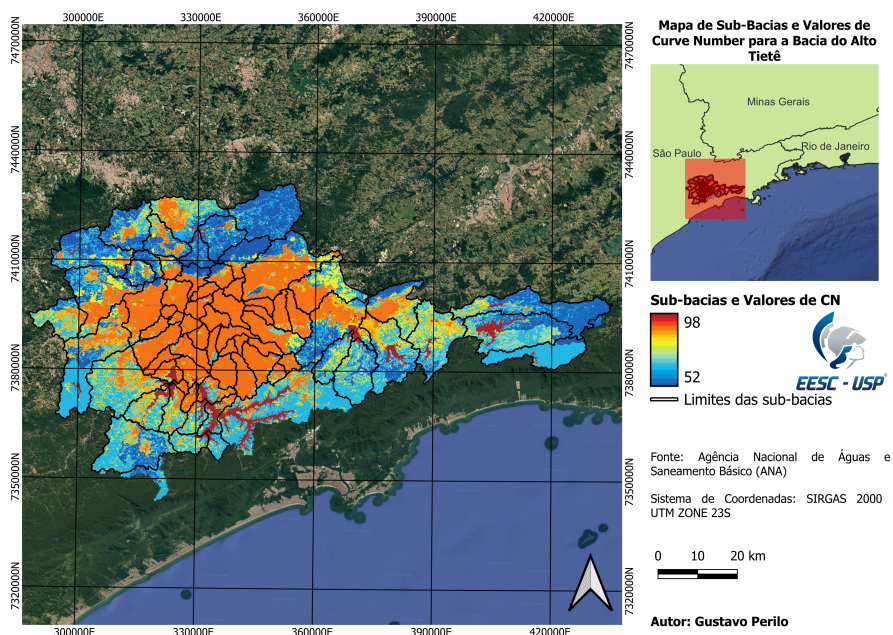


Figura 2: Mapa de Curve Number da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê
Fonte: Autor

A precipitação foi obtida a partir da equação de intensidade-duração-frequência (IDF) proposta por Martinez e Magni (1999), utilizada na construção da chuva de projeto. Informações complementares, como vazões de referência e capacidade de calha dos principais cursos d'água, foram obtidas a partir do Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê III (PDMAT III) (DAEE, 2014).

Chuva de Projeto

A equação de intensidade-duração-frequência (IDF) adotada neste estudo foi a proposta por Martinez e Magni (1999), desenvolvida em convênio com o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). A equação foi ajustada com base em uma série histórica de aproximadamente 65 anos de dados pluviométricos da estação do IAG-USP. Trata-se de uma formulação amplamente empregada em estudos hidrológicos na região de São Paulo. A equação de Martinez e Magni é apresentada a seguir:

$$i_{t,T} = 39,3015 (t + 20)^{-0,9228} + 10,1767 (t + 20)^{-0,8764} \left[-0,4653 - 0,8407 \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \quad (1)$$

A partir da equação 1, foi construída uma chuva de projeto com período de retorno de 100 anos. A distribuição temporal da precipitação foi realizada por meio do método dos blocos alternados, a partir da definição de uma duração total do evento de 24 horas e de um intervalo de discretização de 30 minutos. O evento apresenta volume acumulado total de 152 mm. Foi aplicado um fator

de redução de área de 0,6, específico para a Bacia do Alto Tietê, conforme proposto por Girnius e Martins (2014), com o objetivo de representar a não uniformidade espacial da precipitação em bacias de grande extensão. O hietograma resultante foi utilizado como entrada nas simulações realizadas no modelo HEC-HMS.

Modelagem Hidrológica no HEC-HMS

A estruturação do modelo hidrológico foi realizada a partir da integração de dados topográficos e hidrológicos. Inicialmente, foi feita a correção das depressões espúrias do modelo digital de elevação. Em função da dimensão da bacia e da necessidade de representar a variabilidade espacial de parâmetros e características hidrológicas (Pontes *et al.*, 2015), adotou-se uma abordagem distribuída, com subdivisão da bacia em unidades menores, denominadas sub-bacias ou mini-bacias. Para isso, foi definido um limiar de área (threshold) de 15 km^2 , o qual controla o nível de detalhamento do modelo. Por fim, de modo a otimizar o desempenho computacional do modelo, as sub-bacias localizadas fora da região de São Paulo e do Grande ABC foram agrupadas em unidades maiores.

Para a definição dos valores de Curve Number (CN) em cada sub-bacia, foi empregada a abordagem de discretização estruturada (structured discretization), disponível no HEC-HMS (USACE, 2026). Essa abordagem consiste na geração de uma grade regular no interior de cada sub-bacia, permitindo a integração de dados espaciais raster. A partir dessa discretização, os valores de CN foram ponderados para cada sub-bacia por meio da interseção entre a grade e o raster de CN disponibilizado pela ANA, o que possibilita a representação da variabilidade espacial desse parâmetro no modelo hidrológico.

As perdas foram estimadas pelo método SCS-CN, com base nos valores de Curve Number definidos para cada sub-bacia. Para explorar como o CN afeta as vazões de pico em um evento extremo, foram simulados diversos cenários com variações percentuais entre -40% e +20% do CN para cada sub-bacia. A transformação da chuva em vazão foi realizada por meio do hidrograma unitário do SCS, com utilização do parâmetro lag time, calculado para cada sub-bacia a partir da média entre diferentes formulações empíricas de tempo de concentração, incluindo os métodos de Kirpich, Corps of Engineers, Dooge, Giandotti e Chow, conforme apresentado por Silveira (2005). Os métodos apresentaram resultados consistentes entre si, o que justifica a adoção da média como valor representativo.

A propagação do escoamento ao longo da rede de drenagem foi representada de forma combinada, com aplicação do método de Muskingum nos principais cursos d'água, como os rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí, de modo a incorporar efeitos de atenuação hidráulica e particularidades do escoamento, como a baixa celeridade no rio Pinheiros. Nos demais trechos foi adotado o método do lag time, em função de sua simplicidade e menor custo computacional. O modelo meteorológico foi definido a partir do hietograma da chuva de projeto. As especificações de controle adotaram passo de tempo computacional de 10 minutos e duração total de simulação de aproximadamente três dias, de modo a abranger integralmente o evento de precipitação e a resposta hidrológica da bacia.

A convergência dos resultados foi verificada a partir da variação sucessiva dos parâmetros K e X de Muskingum, além de variações no passo de tempo computacional, relacionado à estabilidade numérica do método. Por fim, foram modeladas as estruturas hidráulicas, processo que será detalhado na subseção seguinte.

Estruturas Hidráulicas

Os reservatórios Guarapiranga e Billings foram representados por meio de uma abordagem simplificada de operação, com utilização de vazões constantes de descarga. Para a definição dessas vazões, foram analisadas séries históricas de 25 anos de dados disponíveis no Sistema de Acompanhamento de Reservatórios da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2026). A partir dessas séries, foram identificadas as vazões máximas efetivamente descarregadas no período analisado, correspondentes a $97 \text{ m}^3/\text{s}$ para a represa Guarapiranga e $158 \text{ m}^3/\text{s}$ para a represa Billings, as quais foram adotadas como valores constantes no modelo. Essa simplificação representa a condição de reservatórios previamente cheios no início do evento simulado, caracterizando um cenário a favor da segurança para a análise de eventos extremos.

O sistema de bombeamento do rio Pinheiros foi representado por meio da modelagem da Usina Elevatória de Traição, com capacidade constante de $280 \text{ m}^3/\text{s}$, conforme dados da Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE, 2026). No HEC-HMS, esse sistema foi implementado como um elemento do tipo diversion, responsável por desviar essa vazão do canal do rio Pinheiros em direção ao reservatório Billings, permitindo a avaliação do efeito do bombeamento na modulação das vazões de pico na bacia.

RESULTADOS

O hidrograma para o ponto de controle (encontro entre os rios Tietê e Pinheiros) está apresentado na figura 3. A vazão de pico do sistema é de $1870 \text{ m}^3/\text{s}$, e ocorre cerca de 24 horas depois do início do evento de precipitação e cerca de 12 horas depois do pico de precipitação. As vazões de pico obtidas para os principais rios da bacia foram organizadas na tabela 1, em comparação com a respectiva capacidade da calha do rio, de acordo com o PDMAT III.

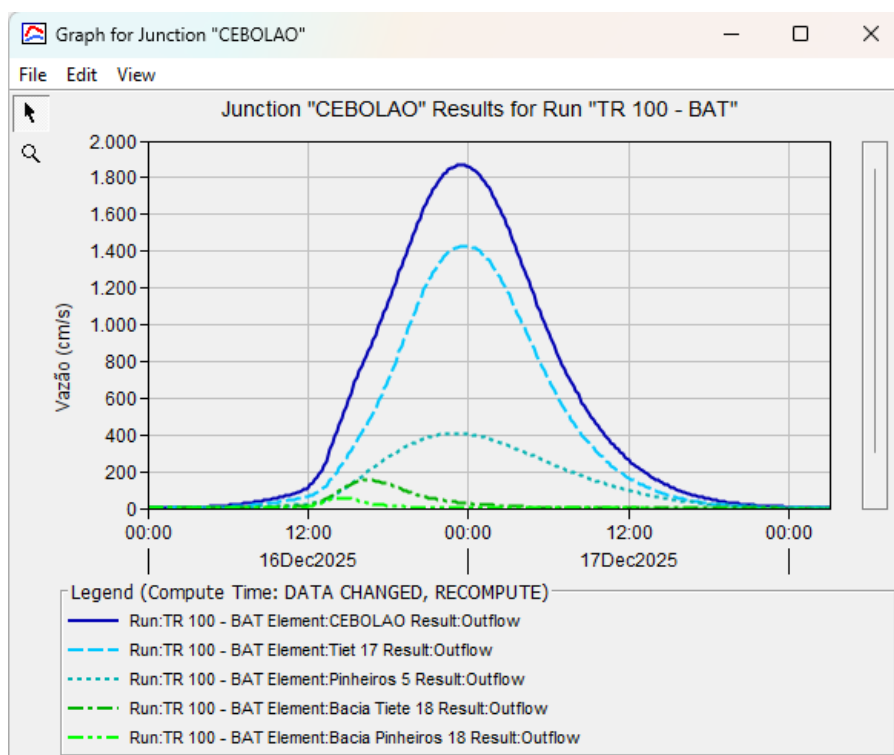


Figura 3: Hidrograma do ponto conhecido como Cebolão (encontro dos rios Pinheiros e Tietê) para TR 100 anos e bombas da EMAE operantes.

Fonte: Autor

Tabela 1: Capacidade de calha e vazão de evento extremo (TR 100 anos)

Rio	Capacidade de vazão (m^3/s)	Vazão (TR 100 anos) (m^3/s)
Aricanduva	150–200	292,7
Cabuçu de Cima	150–200	291,8
Tamanduateí (até o Rib. Meninos)	< 300	349,3
Tamanduateí (Foz)	500–700	701,5
Ribeirão dos Meninos	150–200	301,1
Tietê	800–1050	636,8 a 1451,4
Pinheiros	400	409,4 a 419,8
Cebolão	1050 a 1200	1870

Fonte: Autor

Adicionalmente, foram simulados cenários alternativos. A propagação de vazões representada exclusivamente pelo método do lag time resultou em picos de vazão da mesma ordem de grandeza, porém com hidrogramas mais estreitos, sem a atenuação promovida pelo método de Muskingum, e com ocorrência do pico cerca de 4 horas mais tarde. Observou-se, entretanto, limitação na representação do rio Pinheiros, cujas características hidráulicas, como baixa declividade e reduzida velocidade de escoamento, não são adequadamente capturadas por esse método, o que resultou em vazão de pico da ordem de $600 m^3/s$, um extravasamento significativo da calha inconsistente com os resultados do PDMAT III.

A simulação de um cenário hipotético no qual não existem as represas Billings e Guarapiranga e o sistema de bombeamento da EMAE elevou a vazão de pico no rio Pinheiros de cerca de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ para aproximadamente $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ e no Cebolão para valores da ordem de $2400 \text{ m}^3/\text{s}$, ou seja, confirmou que as estruturas hidráulicas são fundamentais para o amortecimento das cheias e controle de inundações.

Por fim, a sensibilidade das vazões de pico às variações do CN foi avaliada a partir do gráfico da figura 4, construído com base em dados obtidos de diferentes simulações.

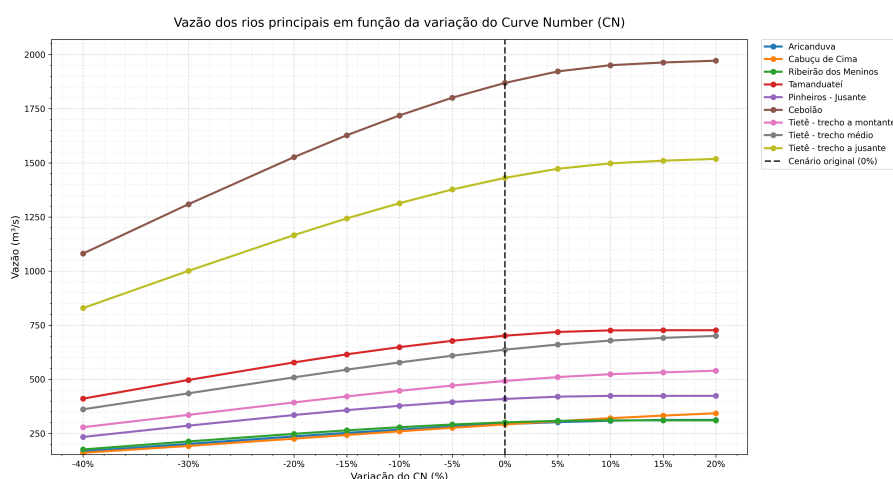


Figura 4: Gráfico de vazões nos rios principais em função da variação do CN.

Fonte: Autor

DISCUSSÕES

As vazões obtidas pelo modelo para o evento extremo indicam superação da capacidade de calha na maior parte dos cursos d'água analisados. O Pinheiros apresenta situação distinta, com vazões próximas à sua capacidade de escoamento, o que pode ser atribuído ao seu elevado grau de controle hidráulico e às modificações antrópicas ao longo de seu curso. Essa leve superação da capacidade da calha do Pinheiros também foi observada na simulação de evento de 100 anos de tempo de retorno do PDMAT III, que sugere o aumento da capacidade do sistema de bombeamento para contornar a problemática.

A análise de sensibilidade do gráfico da figura 4 revela aumento sistemático das vazões de pico com a elevação do coeficiente Curve Number (CN), o que evidencia o papel da impermeabilização do solo no aumento do escoamento superficial. Observa-se comportamento não linear, com redução da taxa de incremento das vazões para valores elevados de CN, o que se explica pela já limitada capacidade de infiltração da bacia.

Os cenários evidenciam também a importância das estruturas hidráulicas na modulação das cheias na bacia. As represas Billings e Guarapiranga desempenham papel estrutural no amortecimento das vazões, atuando de forma contínua na regulação dos escoamentos. O sistema de reversão

de fluxo do rio Pinheiros, por meio do bombeamento da Usina Elevatória de Traição, atua de forma complementar, sendo acionado em condições específicas para desviar volumes em direção ao reservatório Billings. Em conjunto, essas estruturas contribuem para a redução das vazões de pico nos principais cursos d'água.

As vazões simuladas para os principais cursos d'água mostraram-se compatíveis com as estimativas do PDMAT III, o que indica consistência do modelo hidrológico elaborado e sua capacidade de representar a resposta da bacia em eventos extremos. Para o exutório deste estudo, o encontro entre o Tietê e o Pinheiros (Cebolão), o PDMAT III indica vazões de pico de até $1850 \text{ m}^3/\text{s}$ para um evento de mesmo tempo de retorno, valor muito próximo ao obtido nas simulações realizadas.

Os resultados obtidos estão sujeitos a simplificações inerentes à modelagem hidrológica empregada, bem como às hipóteses consideradas na elaboração do modelo, como foi o caso da vazão de descarga das represas. A propagação de vazões foi representada pelo método de Muskingum, que não contempla todos os efeitos hidráulicos presentes nos canais. A precipitação foi distribuída por meio do método dos blocos alternados, o que constitui uma aproximação da variabilidade temporal real dos eventos. Além disso, a equação IDF utilizada não incorpora possíveis alterações associadas às mudanças climáticas e o tempo de concentração foi estimado a partir de formulações empíricas. Essas simplificações introduzem incertezas, mas são compatíveis com o objetivo do estudo.

Futuros estudos, já em desenvolvimento, visam a melhor representação do sistema, reduzindo as simplificações mencionadas. Além disso, estão sendo conduzidas análises envolvendo a avaliação de outros efeitos como mudanças climáticas e a variabilidade espacial do CN, com o intuito de refinar a representação do evento extremo de precipitação de acordo com os padrões atuais e de definir regiões mais críticas em relação à impermeabilização e subsidiar a formulação de políticas públicas.

CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a resposta hidrológica da Bacia do Alto Tietê frente a um evento extremo de precipitação, considerando diferentes cenários de uso do solo e operação de estruturas hidráulicas. Os resultados indicam superação da capacidade de calha em diversos rios, o que evidencia a persistência do risco de inundação na bacia. A análise de sensibilidade ao coeficiente Curve Number (CN) demonstrou a forte influência da impermeabilização do solo na intensificação das cheias, enquanto a simulação de cenários sem as estruturas hidráulicas evidenciou seu papel relevante na atenuação das vazões de pico, ainda que insuficiente para evitar extravasamentos em eventos extremos. Destaca-se, por fim, a utilização de dados espaciais de Curve Number disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, que permitem maior detalhamento e precisão do método SCS-CN e contribuem para o aprimoramento da modelagem em bacias urbanas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA) (2025). Produção de bases vetoriais com índice Curva-Número (Curve Number – CN) para Base Hidrográfica Atlas Estudos (BHAECN-1985 e BHAECN-2022). Nota Técnica nº 9/2025/COMUC/SHE-SEI, Brasília.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA) (2026). Sistema de Acompanhamento de Reservatórios do Sistema Interligado Nacional (SAR/SIN): dados de operação dos reservatórios. Brasília.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ (CBH-AT) (2009). Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Sumário Executivo. São Paulo.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) (2014). Terceiro Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê - PDMAT 3. São Paulo.
- EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA (EMAE) (2026). Elevatórias. Disponível em: <https://emae.com.br/elevatorias/>. Acesso em: 02 mar. 2026.
- GIRNIUS, L. S.; MARTINS, J. R. S. (2014). "Estimativa do fator de redução ponto-área para estudos de macrodrenagem na Bacia do Alto Tietê" in *Anais do Encontro Nacional de Águas Urbanas (ENAU)*, São Paulo.
- MARTINEZ JUNIOR, F.; MAGNI, N. L. G. (1999). *Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo*. Convênio DAEE-USP. Edição revisada, São Paulo.
- PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C. (2015). "Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(4), pp. 888–904.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL) (2025). Aprovados mais R\$ 12 milhões do FEHIDRO para projetos de drenagem no Grande ABC. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/2025/03/aprovados-mais-r-12-milhoes-do-fehidro-para-projetos-de-drenagem-no-grande-abc/>. Acesso em: 13 abr. 2026.
- SILVEIRA, A. L. L. (2005). "Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10(1), pp. 5–23.
- UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE) (2026). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual*. Version 4.13. Hydrologic Engineering Center, Davis. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. Acesso em: 13 abr. 2026.