

TERRITÓRIOS DA ÁGUA: ABORDAGEM METODOLÓGICA DA HIDROLOGIA URBANA COMO SUBSÍDIO À DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS E PROPOSIÇÃO DE INTERVENÇÕES EM APPs URBANAS

Melissa Cristina Pereira Graciosa¹; Nicole del Busso Fernandes² Yasmin Marcos³ & Luciana Rodrigues Fagnoni Costa Travassos⁴

RESUMO

O projeto de pesquisa Territórios da Água (TdA) resulta de uma parceria entre a Universidade Federal do ABC e a Secretaria do Verde e Meio Ambiente do Município de São Paulo, com o objetivo de subsidiar a implantação da Ação 1 do PLANPAVEL, voltada à construção do Programa de Conservação e Recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) no município. O projeto busca diagnosticar intervenções realizadas nas APPs urbanas ao longo dos últimos 20 anos, caracterizá-las por tipologias, identificar novas demandas e definir diretrizes de priorização, gestão e monitoramento. Considerando que a urbanização paulistana ocorreu fortemente sobre fundos de vale, o programa apresenta estreita relação com as águas urbanas e com as estratégias de drenagem e manejo de águas pluviais (DMAP). Nesse contexto, os aspectos de hidrologia urbana permeiam diferentes etapas da pesquisa, especialmente aquelas relacionadas à ocupação territorial das planícies de inundação inseridas nas APPs fluviais do município. Este trabalho apresenta as bases metodológicas para o desenvolvimento da componente de hidrologia urbana do programa.

Palavras-Chave – Territórios da Água; APPs Urbanas; Hidrologia Urbana; Águas Urbanas.

ABSTRACT

The Water Territories (WT) research project results from a partnership between the Federal University of ABC and the Municipal Secretariat for Green and the Environment of São Paulo, aiming to support the implementation of Action 1 of PLANPAVEL, focused on the development of the Program for the Conservation and Restoration of Permanent Preservation Areas (PPAs) in the Municipality of São Paulo. The project seeks to assess interventions carried out in urban PPAs over the last 20 years, classify them through typologies, identify new intervention demands, and define prioritization, management, and monitoring guidelines. Since São Paulo's urbanization process has been strongly associated with valley-bottom occupation, the program is closely related to urban waters and urban drainage and stormwater management strategies. In this context, urban hydrology aspects permeate different stages of the research, especially those related to territorial occupation dynamics in floodplains located within the municipality's fluvial PPAs. This study presents the methodological foundations for the development of the program's urban hydrology component.

Key-words – Water Territories; Urban PPAs; Urban Hydrology; Urban Waters

1) Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC – UFABC, Av. dos Estados, 5001, Bairro Bangu, Santo André – SP, 09210-580, melissa.graciosa@ufabc.edu.br

2) Nicole del Busso Fernandes, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do ABC - UFABC. Av. dos Estados, 5001, Bairro Bangu CEP: 09280-560, +5511952162716, nicolebusso@gmail.com

3) Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC – UFABC, Al. da Universidade, s/n - Anchieta, São Bernardo do Campo – SP, 09606-045, marcos.yasmin@yahoo.com.br

4) Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC – UFABC, Al. da Universidade, s/n - Anchieta, São Bernardo do Campo – SP, 09606-045, luciana.travassos@ufabc.edu.br

INTRODUÇÃO

As Áreas de Preservação Permanente associadas a cursos d'água (APPs fluviais) desempenham papel estratégico na estruturação urbano-ambiental do Município de São Paulo. Em um território marcado historicamente pela ocupação das planícies fluviais, pela canalização de córregos e pela implantação de vias de fundo de vale, a conservação e recuperação dessas áreas constitui desafio central para a adaptação climática, a segurança hídrica, a redução de riscos de inundação e a qualificação dos espaços livres públicos. Esse desafio é ainda mais relevante diante da intensificação dos eventos extremos de precipitação, da degradação de margens e várzeas urbanas e da distribuição desigual de áreas verdes qualificadas, especialmente nas regiões periféricas e socialmente mais vulneráveis.

Nesse contexto, o projeto Territórios da Água propõe subsidiar a elaboração do Programa de Conservação e Recuperação de Áreas de Preservação Permanente no Município de São Paulo, articulando pesquisa científica, gestão pública e participação social. A proposta parte da compreensão das APPs urbanas como territórios complexos, nos quais se sobrepõem funções ecológicas, hidrológicas, sociais, paisagísticas, urbanísticas e de lazer. A construção de tipologias para as APPs municipais exige uma abordagem integrada, que possibilite reconhecer suas características biofísicas e hidrológicas bem como seus usos, conflitos, vulnerabilidades e potencialidades associadas às diferentes situações territoriais.

A modelagem hidrológica e hidrodinâmica constitui, nesse processo, instrumento fundamental de apoio ao diagnóstico, à caracterização tipológica e à formulação de alternativas de intervenção. A simulação de vazões, níveis d'água e manchas de inundação para diferentes tempos de retorno e cenários de uso e ocupação do solo permite quantificar a dinâmica das águas urbanas nas bacias e várzeas, identificar áreas inundáveis, estimar profundidades de inundação e avaliar os efeitos potenciais da preservação ou recuperação das planícies fluviais. Esses resultados oferecem subsídios técnicos para a definição de parâmetros de priorização, intervenção e gestão, bem como para a comparação entre cenários convencionais e soluções associadas à infraestrutura verde-azul, parques lineares e Soluções Baseadas na Natureza.

A pesquisa adota a abordagem de duas áreas piloto, nas quais serão desenvolvidas as etapas metodológicas do programa, desde o levantamento e sistematização de dados até a modelagem de cenários, a análise de alternativas e a proposição de diretrizes de intervenção. Essas áreas permitirão testar a aplicabilidade dos critérios de tipologia e priorização, bem como avaliar a aderência das propostas às condições de gestão pública, disponibilidade de informações, arranjos institucionais e

possibilidades de financiamento. A escala piloto, nesse sentido, funciona como espaço de integração entre diagnóstico territorial, modelagem, planejamento, gestão e monitoramento.

A abordagem adotada dialoga com as novas diretrizes da Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (DMAPU), que vêm substituindo o paradigma tradicional de rápida condução das vazões para jusante por princípios de sustentabilidade, controle na fonte, amortecimento, infiltração, preservação de cursos d'água e valorização das planícies de inundação. Este novo paradigma estingue a antiga visão das pluviais como um problema a ser afastado das áreas urbanizadas, trazendo a perspectiva de reconhecimento dos cursos d'água e suas margens como elementos estruturadores da paisagem urbana, capazes de combinar redução de riscos, melhoria ambiental, lazer, biodiversidade e qualificação dos espaços públicos.

A pesquisa está pautada na justiça ambiental, em especial na etapa de priorização das áreas de intervenção. Em uma cidade profundamente desigual, a ampliação, preservação e qualificação de espaços verdes deve evitar reforçar assimetrias territoriais já existentes, orientando esforços para territórios historicamente menos contemplados por políticas ambientais e urbanas, em especial aqueles com maior precariedade urbana, vulnerabilidade social e exposição a riscos hidrológicos e geotécnicos. A modelagem hidrológico-hidrodinâmica subsidiará, no contexto do projeto, a construção de tipologias e a definição de parâmetros de intervenção como instrumentos de apoio à formulação de uma política pública integrada e territorializada, social e ambientalmente justa.

METODOLOGIA

A metodologia proposta articula modelagem hidrológico-hidrodinâmica, análise territorial das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e definição de estratégias de intervenção associadas ao projeto Territórios da Água. A modelagem será utilizada como instrumento de apoio à caracterização das APPs urbanas, especialmente na construção de tipologias e na definição de parâmetros de priorização, intervenção e gestão. Sua aplicação concentra-se sobretudo no Eixo 4 do projeto, voltado à formulação de parâmetros e cenários de intervenção, mas também fornece subsídios ao Eixo 3, ao incorporar variáveis hidrológicas e hidráulicas à leitura territorial das APPs.

A primeira etapa consiste no levantamento, organização e análise de dados secundários relativos às bacias hidrográficas e cursos d'água selecionados como áreas piloto. Serão reunidas informações cartográficas, topográficas, hidrológicas, hidráulicas, pedológicas e de uso e ocupação do solo, incluindo batimetrias, cadastros de drenagem, projetos implantados ou previstos, planos de drenagem incidentes no território, dados pluviométricos e informações sobre possíveis alterações urbanas futuras. As bases serão sistematizadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas

(SIG), permitindo a delimitação das bacias contribuintes, a definição da topologia hidrológica, a extração de parâmetros morfométricos e a preparação dos dados de entrada para os modelos.

Na segunda etapa, será realizada a caracterização morfométrica e hidroclimatológica das bacias estudadas, com identificação de área de drenagem, declividades, comprimentos de talvegues, tempos de concentração, tipos hidrológicos de solo, cobertura vegetal, grau de impermeabilização e padrões de ocupação urbana. Essa caracterização subsidiará a construção dos cenários de simulação, contemplando a situação atual e cenários futuros de uso e ocupação do solo. As chuvas de projeto serão definidas para diferentes Tempos de Retorno (TRs), com base em curvas intensidade-duração-frequência (IDF), adotando-se distribuição temporal compatível com eventos críticos de curta duração.

A modelagem hidrológica será desenvolvida por meio do modelo do Natural Resources Conservation Service (NRCS), antigo Soil Conservation Service (SCS), baseado no método do Curve Number (CN), com aplicação no software HEC-HMS. O método permite estimar a precipitação efetiva e transformar a chuva de projeto em hidrogramas de cheia, considerando as condições de solo, cobertura, umidade antecedente e impermeabilização da bacia. A adoção desse modelo se justifica por sua ampla aplicação em sub-bacias urbanas, relativa simplicidade de parâmetros, adequação a contextos com disponibilidade limitada de dados observados e capacidade de gerar resultados compatíveis com estudos de planejamento e projetos de drenagem urbana.

Os hidrogramas obtidos no HEC-HMS serão utilizados como dados de entrada para a modelagem hidrodinâmica, a ser realizada no HEC-RAS, preferencialmente em abordagem bidimensional, adequada à representação do escoamento em várzeas, planícies de inundação e fundos de vale urbanos. A modelagem hidráulica permitirá simular a propagação das cheias, estimar níveis d'água, profundidades, velocidades de escoamento e manchas de inundação para os diferentes TRs e cenários avaliados. Com isso, será possível identificar áreas inundáveis, pontos de estrangulamento hidráulico, trechos com maior suscetibilidade a danos e setores nos quais a preservação ou recuperação das APPs pode contribuir para o amortecimento das cheias.

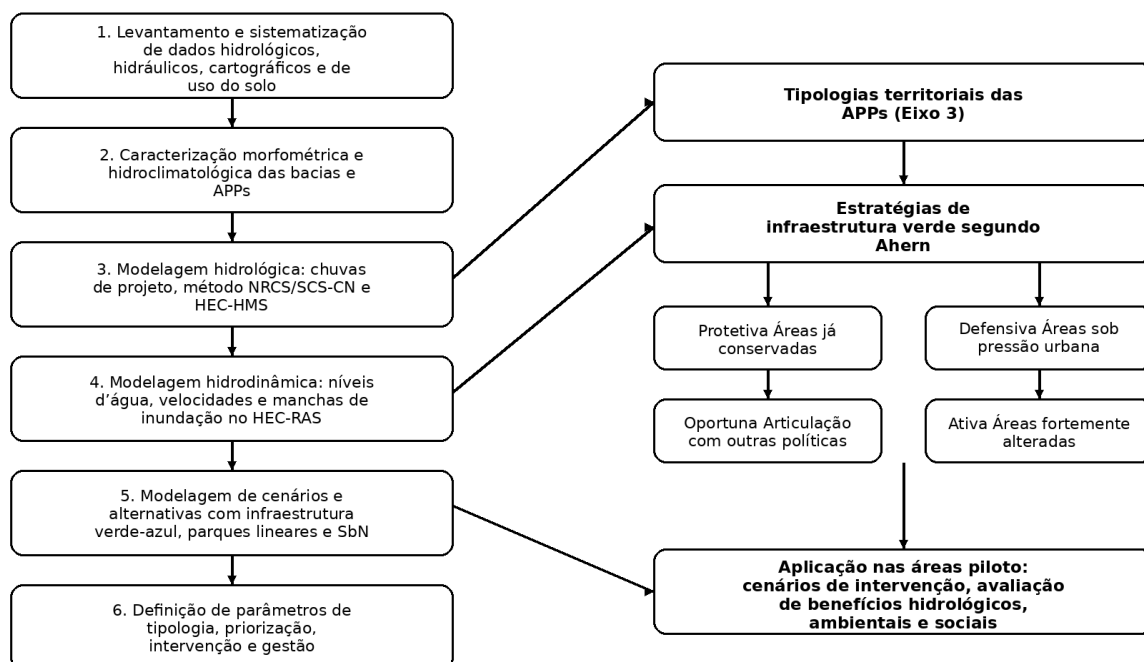
A terceira etapa corresponde à modelagem de cenários e ao estudo de alternativas de intervenção. As simulações serão orientadas pelas tipologias territoriais das APPs e pela classificação de estratégias de infraestrutura verde proposta por Ahern, contemplando quatro abordagens: estratégias protetivas, voltadas à manutenção de áreas já conservadas; estratégias defensivas, aplicáveis a áreas próximas da condição natural, mas submetidas à pressão de expansão urbana; estratégias oportunas, associadas à transformação de APPs em articulação com políticas públicas já previstas, como urbanização de assentamentos precários, implantação de parques lineares ou

requalificação urbana; e estratégias ativas, destinadas a áreas fortemente alteradas, como córregos canalizados ou implantados sob vias de fundo de vale.

Para cada área piloto, serão comparados cenários de referência e cenários com intervenções baseadas em infraestrutura verde-azul e Soluções Baseadas na Natureza, tais como recuperação de várzeas, recomposição de vegetação ciliar, implantação de parques lineares, criação de áreas de retenção e retenção, dispositivos de infiltração e medidas de reconexão entre curso d'água, APP e paisagem urbana. Os resultados serão avaliados em termos de redução de manchas de inundação, profundidades, velocidades, volumes escoados, exposição de sistemas urbanos e potencial de mitigação de danos diretos e indiretos.

Por fim, os produtos da modelagem serão integrados aos critérios de priorização, intervenção e gestão do Programa de Conservação e Recuperação de APPs. Essa integração permitirá que os resultados hidrológico-hidrodinâmicos não sejam tratados apenas como diagnóstico físico, mas como subsídio à tomada de decisão pública, articulando risco hidrológico, vulnerabilidade social, disponibilidade de áreas, potencial de recuperação ambiental, aderência a políticas públicas existentes, viabilidade institucional e justiça ambiental. Assim, a metodologia busca apoiar a formulação de um programa territorializado, tecnicamente fundamentado e alinhado aos novos paradigmas da drenagem urbana sustentável. A Figura a seguir apresenta a metodologia da modelagem hidrológico-hidráulica como subsídio às atividades do projeto Territórios da Água.

Fluxograma metodológico da modelagem hidrológico-hidrodinâmica como apoio ao projeto Territórios da Água



Fonte: elaboração própria a partir da metodologia proposta para o projeto Territórios da Água.

Figura 1 – Fluxograma metodológico da abordagem hidrológico-hidráulica de apoio ao Programa Territórios da Água.

Fonte: Elaboração própria a partir da metodologia proposta do segmento de hidrologia do projeto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira bacia piloto selecionada para a elaboração do Piloto, cujo diagnóstico hidrológico está parcialmente concluído, é a do Ribeirão Parelheiros / Caulim, localizada na zona sul de São Paulo, afluente ao reservatório Guarapiranga, importante manancial de abastecimento do município. A bacia tem a totalidade do seu território, de 47,3 km², inserida na Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM) Guarapiranga, definida conforme Lei Específica da Guarapiranga (Lei Estadual nº 12.233 de 16 de janeiro de 2006). Foram realizadas simulações preliminares para a porção da bacia correspondente a um afluente sem denominação do Córrego Itaim, na região do Jardim São Norberto e Bom Clima, afluente da margem direita do Ribeirão Parelheiros, que deságua na Represa Guarapiranga.

Os resultados da simulação, bem como os parâmetros adotados e detalhamento da modelagem, estão apresentados em artigo específico neste mesmo evento, intitulado “Modelagem hidrológica e hidráulica como subsídio à intervenção em área de preservação permanente – estudo de

caso do Jardim São Norberto e Bom Clima, em São Paulo – SP”.

A avaliação de campo mostrou-se fundamental para possibilitar a realização da modelagem. Conforme descrito no artigo supracitado, a população local realizou uma intervenção estrutural no curso d’água, fazendo uma reversão parcial para uma bacia vizinha, do escoamento de uma área de aproximadamente 0,42 km², com o objetivo de melhorar a situação das inundações no bairro, por meio da instalação de uma barreira física que conduz o escoamento para um antigo braço de um curso d’água adjacente.

Este tipo de situação, em que a população realiza, por conta própria, intervenções no sistema de drenagem e até mesmo em cursos d’água, sem o conhecimento do poder público ou do órgão gestor local, não é uma exceção e resulta da percepção de abandono gerada na população devida à inação do poder público diante de eventos recorrentes de inundação. Cumpre ressaltar a região da bacia do Ribeirão Parelheiros possui bairros em condições de precariedade habitacional, em diferentes situações de regularização fundiária e de acesso a infraestruturas por parte do poder público.

Para a elaboração da modelagem, nesse caso e de maneira geral, em áreas urbanas, é fundamental o conhecimento de campo, obtido a partir de visita ao local, diálogo com lideranças comunitárias, com o poder público, para o entendimento da situação que se almeja representar e possibilidade de adequação das simulações o mais próximo possível da realidade.

Em termos de resultados, a modelagem e simulação possibilitou a elaboração das manchas de inundação para o período de retorno, definindo os limites atingidos pelas águas bem como as profundidades correspondentes. A metodologia adotada cumpriu seu propósito na caracterização do cenário existente e apoio à definição das tipologias da APP na bacia de estudo. Está em curso a etapa de avaliação das alternativas de intervenção e sua eficiência e aderência aos objetivos gerais do Programa, que contempla, além dos aspectos hidrológicos, também a condição habitacional, de estrutura urbana no entorno, de saneamento (que reflete na qualidade das águas da bacia) e de proteção ambiental da APP.

A carência de dados, especialmente da geometria das seções e de monitoramento pluviométrico na bacia conduzem à necessidade de adotar certas simplificações, tais como o uso de uma única curva idf para todo o território do município. Entretanto, a quantificação do risco de inundação a partir de modelagem, ainda que adotando-se hipóteses simplificadoras, revela-se

importante ferramenta de planejamento urbano, apoiando a tomada de decisão das estratégias de intervenção.

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares demonstraram que a metodologia proposta para o apoio hidrológico ao Programa Territórios da Água desempenhou um papel adequado como ferramenta, tanto de apoio ao diagnóstico, permitindo quantificar as manchas de inundação, quanto de avaliação de alternativas de intervenção, possibilitando a simulação de cenários alternativos contemplando diferentes abordagens socio-urbano-ambientais para o território. Desta forma, pode-se chegar a proposições de intervenções que contemplem, além da proteção das APPS, também a segurança hidrológica da população e acesso a espaços verdes públicos de qualidade, mesmo em bairros periféricos. O estudo reforça a importância de integrar abordagens técnicas, ambientais, territoriais e institucionais na formulação de estratégias protetivas, defensivas, oportunas e ativas de gestão territorial e urbana.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo apoio para o desenvolvimento da pesquisa (Processo FAPESP nº 2024/20951-4) e a todos os pesquisadores do projeto “Territórios da Água: Programa de Conservação e Recuperação de Áreas de Preservação Permanente no Município de São Paulo” (Processo FAPESP nº 2023/10072-0).

REFERÊNCIAS

- SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê – PDMAT-1. São Paulo: DAEE, 1988.
- SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê – PDMAT-3. São Paulo: DAEE, 2014.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ (CBH-AT). Relatório I – Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. São Paulo: CBH-AT, 2016. Disponível em: SIGRH – Relatório I. Acesso em: 13 maio 2026.
- AHERN, J. (1995). Greenways as a planning strategy. *Landscape and Urban Planning*, v. 33, p. 131-155. United States, 1995.
- BRUNNER, G. W. (2020). “*HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*”. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, CA, 482 p.
- CHOW, V. T. (1959). “*Open-Channel Hydraulics*”. McGraw-Hill, New York, 680 p.
- CURTI, D. K.; SILVA, O. B. (2023). “*Mapeamento de risco de enchente e inundação em assentamentos precários: Relatório HPA-05 Jd. São Norberto I*”. São Paulo: Coordenação Municipal de Defesa Civil - COMDEC.
- CURTI, D. K.; SILVA, O. B. (2023). “*Mapeamento de risco de enchente e inundação em assentamentos precários: Relatório HPA-06 Jd. São Norberto II*”. São Paulo: Coordenação Municipal de Defesa Civil - COMDEC.

- DAEE - CTH. (2018). “*Precipitações Intensas na Bacia do Alto Tietê*”. São Paulo, 75 p. Disponível em: <https://www.spaguas.sp.gov.br/site/hidrologia/>
- DAEE (2017). “*Instrução Técnica DPO nº 11, de 30 de maio de 2017*”. São Paulo, 10 p.
- HUFF, F.A. (1967). “*Time distribution of rainfall in heavy storms*”. Water Resources Research, 3 (4), p. 1007-1019.
- FERNANDES, Nicole del Busso; GRACIOSA, Melissa Cristina Pereira. *Caracterização da bacia do Ribeirão Caulim/Parelheiros e avaliação das intervenções de drenagem concluídas e previstas*. In: XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2025. Anais [...]. 2025. ISSN 2318-0358.
- KUTNER, A. S.; CONTE, A. E.; NITTA, T. (2001). “*Análise geológica e caracterização dos solos para avaliação do coeficiente de escoamento superficial na Bacia do Alto Tietê*” in Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, Nov. 2001.
- MARTINEZ, F.; PITERI, R. F.; LOBO, G. A. (2015). “*Precipitações intensas na Bacia do Alto Tietê*” in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, Nov. 2015.
- MACARTHUR, R.; DE VRIES, J. J. (1993). “*Introduction and Application of Kinematic Wave Routing Techniques Using Hec-1 - TD-10*”. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, CA, 68 p.
- NRCS (1986). “*TR-55 - Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55*”. 2º ed.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO – SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E MEIO AMBIENTE – SVMA (2025). “*Projeto Territórios da Água*”. Disponível em: https://capital.sp.gov.br/web/meio_ambiente/w/projeto-territ%C3%B3rios-da-%C3%A1gua
- USDA: United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service.
- SÃO PAULO (2012). “*Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos*”. São Paulo, SMDU, 220 p. il. v.2.