

V Seminário Nacional do Mestrado Profissional em Rede  
Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

# ProfÁgua

13 a 16 de junho de 2023

Brasília - DF



# ANAIIS



Copyright © 2023 dos organizadores

Direitos reservados desta edição  
RiMa Editora

ISBN – 978-65-84811-30-0  
DOI: [doi.org/10.55333/rima-978-65-84811-30-0](https://doi.org/10.55333/rima-978-65-84811-30-0)

Os textos deste livros foram publicados  
na íntegra, conforme recebidos dos  
organizadores.

COMISSÃO EDITORIAL - RIMA EDITORA  
Dirlene Ribeiro Martins  
Paulo de Tarso Martins  
Carlos Eduardo de Mattos Bicudo (IB-SP)  
Evaldo L. G. Espíndola (USP-SP)  
João Batista Martins (UEL-PR)

*RiMa*

Rua Virgílio Pozzi, 81 – Santa Paula  
13564-040 – São Carlos, SP  
Fone/Fax: (16) 988064652

## ESTUDO DE PROCEDIMENTO E CRITÉRIOS PARA ZONEAMENTO DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO: ESTUDO DE CASO RIO CAPIVARI/SP

Natália de Oliveira Pulcinelli<sup>1</sup>, Guilherme Marques<sup>2</sup>, Fernando Fan<sup>3</sup>

### RESUMO

A gestão de áreas de risco de inundação dispõe de uma importante ferramenta denominada zoneamento, a qual tem como função disciplinar o uso do solo de modo a reduzir os impactos causados por grandes eventos hidrológicos. Esta ferramenta é uma medida não-estrutural amplamente aplicada nos Estados Unidos, por exemplo, e pouco empregue no Brasil. O presente estudo tem como propósito contribuir com a consolidação de procedimentos e critérios que orientem a execução de zoneamento de planícies de inundação no Brasil. Para apresentar os procedimentos estudados e realizados e os critérios elencados, implementar-se-á o zoneamento na planície de inundação da bacia do Rio Capivari, o qual pertence ao conglomerado de bacias PCJ. A área de perigo de inundação é delimitada a partir do evento de cheia fluvial com tempo de retorno de 100 anos e a área da planície de inundação na qual será permitida a ocupação é aquela que constringirá o escoamento do rio de modo que o remanso causado gere uma sobre-elevação máxima de 30 cm na lâmina de água. Ainda, são avaliadas as possíveis diferenças no comportamento hidrodinâmico do rio a partir do uso de duas diferentes fontes de dados topográficos: modelo digital de superfície e modelo digital de elevação.

**Palavras-chave:** Gestão de risco. Inundações. Planejamento urbano.

### ABSTRACT

The flood risk areas management has an important tool denominated zoning, serving to discipline the land uses in order to reduce the impacts caused by major hydrological events. This tool is a nonstructural measure widely applied in the United States, and little used in Brazil. The present study aims to contribute to consolidation of procedures and criteria that guide the flood plains zoning in Brazil. To present the procedures studied and performed and listed criteria, zoning will be implemented in the Capivari River Basin, which belongs to the conglomerate of PCJ Basins. The flood danger area is delimited from the river flood event with 100 years of return period, and the flood plain area where occupancy will be allowed is the one that will constrict the flow of the river so that the generated backwater creates a 30 cm superelevation in water depth. Furthermore, possible differences on the river hydrodynamic behavior are evaluated from different topographical data sources: surface digital model and elevation digital model.

**Keywords:** Risk management. Flood. Town planning.

### INTRODUÇÃO

O processo consistido pelas etapas de ocorrência de precipitação, aumento do fluxo de escoamento do rio e extravasamento da água da sua calha menor para a calha maior é considerado um processo natural e configura uma inundação. Quando edificações são consolidadas nesta região inundável, isto é, uso urbano do espaço, invariavelmente o processo natural da inundação acarretará em um perigo à vida e ao patrimônio. O desenvolvimento desordenado das cidades e períodos

1. Aluna da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: pulcinellieng@gmail.com.
2. Docente no Curso Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/GESPLA/ProfÁgua. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: guilherme.marques@ufrgs.br.
3. Docente no Curso Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/HGE/ProfÁgua. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: fernando.fan@ufrgs.br.

prolongados de baixos índices de pluviosidade são fatores que colaboram para o estabelecimento desta situação de risco (TUCCI, 2005).

A gestão do risco é a área dos recursos hídricos que se destina a estudar e a elaborar ações de prevenção do risco, mitigação e preparação para o enfrentamento das problemáticas geradas pela inundação. Importantes ferramentas da gestão do risco são as medidas não-estruturais, que compreendem toda a preparação para o enfrentamento do desastre natural, bem como na mitigação do mesmo, a exemplo, o disciplinamento do uso do solo, planos de gestão; e as medidas estruturais, as quais compreendem obras hídricas que atuarão protegendo os locais suscetíveis aos impactos e/ou, ainda, melhorando a capacidade de escoamento do corpo hídrico (JOHNSON, 1978).

Dois importantes produtos nacionais que auxiliam o planejamento estratégico da gestão do risco são o Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (ANA, 2014) e as Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (CPRM, 2020). Ainda, há uma grande produção de estudos hidrológicos, de desastres naturais e mapeamento de inundações por parte da academia. Contudo, mesmo com a apresentada produção acerca da temática de inundação, identifica-se uma falta de integração entre as estratégias de gestão de risco de inundações estudadas e a prática da gestão do uso do solo urbano empreendida nas cidades a partir de seus Planos Diretores. É possível encontrar explicação a partir da tímida aplicação de metodologias e critérios que orientem o disciplinamento do uso do solo, de modo a analisar e determinar os usos territoriais mais adequados em função do perigo de inundação (LARENTIS, 2020).

Deste modo, o presente estudo contribui, a partir da apresentação e consideração de conceitos, critérios e mapeamento e zoneamento da planície de inundação (ZPI) do Rio Capivari, estado de São Paulo, para a sistematização de procedimentos que orientem uma adequada realização do ZPI, bem como consolide critérios técnicos para a sua implementação.

## OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é propor um zoneamento da planície de inundação do rio Capivari a partir do estudo e da aplicação de procedimentos e critérios. Como objetivos secundários tem-se a realização do mapeamento das áreas inundáveis; a definição do grau de perigo das áreas urbanas consolidadas e inundáveis; a indicação das áreas ocupáveis da planície de inundação; a análise da relação entre os modelos digitais de terreno Copernicus e FABDEM com o comportamento do sistema hidrodinâmico da bacia; a proposição de medidas de proteção e compensação para as edificações que se estabelecerão na área inundável permitida para uso.

## METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do Rio Capivari está situada no Estado de São Paulo, tem área de aproximadamente 1.569 km<sup>2</sup> e é uma das bacias integrante das bacias PCJ. O Rio Capivari possui extensão de 216 km e, em sua bacia, percorre os municípios de Jundiaí, Louveira, Vinhedo, Itupeva, Valinhos, Campinas, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari, Rafard, Mombuca e Tietê. Ainda, tem-se os municípios de Indaiatuba e Rio das Pedras que têm parcela significativa de seus respectivos territórios localizados na bacia em questão. Com menores áreas atuantes, também compõem a BHC os municípios de Itatiba, Hortolândia, Sumaré, Porto Feliz, Saltinho e Laranjal Paulista. Os principais cursos hídricos afluentes do rio principal são: rio Capivari-Mirim, Ribeirão do Piçarrão, Córrego Água Choca e o Ribeirão da Forquilha.

O zoneamento da planície de inundação do Rio Capivari é elaborado tendo como principal fundamento o mapa das áreas inundáveis do rio, o qual é gerado a partir do estabelecimento do tempo de retorno (TR) do evento pluviométrico considerado e das condições de geração de escoamento superficial da bacia. Para representar a cheia ocorrente com certa probabilidade é realizado um estudo hidrológico da bacia e para reproduzir a linha de água do rio, na ocorrência do evento, é realizado um estudo hidráulico que leva em conta informações de vazão, conformação da calha do rio e o relevo da planície de inundação.

O mapa das áreas inundáveis do rio é uma ferramenta fundamental para a caracterização da zona inundável (ZPI) pois, quando associado a regras de disciplinamento do uso do solo, possibilita a classificação da área inundada pelas definições: ZPC, ZRI e ZBR. Essa classificação é dada através da análise detalhada das características de cada área, o que oferece maior controle sobre a configuração da urbanização planejada (Larentis, 2020).

A delimitação da ZRI é dependente da cheia de projeto, isto é, da periodicidade adotada para a ocorrência, logo do TR. Delimitada a ZRI, o estudo designa uma subdivisão da área para diferentes usos, portanto, estabelece o ordenamento do uso do solo. Para tanto, é adotado um critério que admite o desenvolvimento de certo impacto na planície de inundação (a montante) em razão da ocupação de parte da ZRI. O critério é denominado Máxima Sobre-elevação Admissível (MSEA) da linha de água de cheia e institui que a área destinada a ocupação urbana, isto é, área que deixará de ser utilizada para escoar a cheia de projeto para receber edificações, pode ocupar a ZRI de modo a facultar em uma sobre-elevação máxima da linha de água a montante de 1 pé, isto é, 30 cm (Federal Emergency Management Agency, 2020). Este critério é adotado pelos Estados Unidos e pelo Canadá e pode ser utilizado pelo presente estudo juntamente a outros valores de MSEA a fim de interpretação e análise das consequências verificadas a montante.

Ainda, outro critério de análise, é a desconsideração da vegetação da planície de inundação a partir da utilização do MDT FABDEM. Observa-se que a BHC ainda é uma bacia um tanto vegetada, com conservação de grande parte da mata ciliar do rio principal. A desconsideração da vegetação da zona de planície contribuirá, assim como o MSEA, para a construção de cenários de análises para estabelecimento do ZPI.

A representação da linha de água do rio Capivari é elaborada a partir do *software* HEC-RAS, o qual é consistido por um modelo hidrodinâmico, portanto, considera vazão em trânsito, efeitos de perdas de carga, tais como em remansos, localizadas e distribuídas, sendo capaz de calcular escoamentos em estruturas de drenagem pluvial em regime permanente ou não-permanente de fluxo.

O *software* Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) foi desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers e é um dos modelos de simulação hidráulica mais utilizados em estudos hidráulicos e projetos de drenagem no mundo. O modelo resolve equações de energia, como a do teorema de Benoulli, e de perda de carga.

Para definição da ZPC, o *software* dispõe de uma ferramenta que simula obstruções na calha, denominada *encroachments*, portanto, a partir de sua aplicação é possível analisar os efeitos de ocupação nesta zona e observar a largura desenvolvida e a elevação da linha de água no sentido de montante do rio principal.

As informações que compõem a base de dados e que serão manuseadas para análise e chegada de conclusões do presente estudo são: Plano de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari;

Planialtimetria e altimetria da calha e das margens do rio Capivari; MDS Alos da planície de inundação do rio Capivari; Seções transversais do rio Capivari.

**Agradecimentos** – O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (2014). **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações** (15 p.). Brasília: ANA. Recuperado em 10 de fevereiro de 2020, de [http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=243&fname=Atlas\\_de\\_Vulnerabilidade\\_a\\_Inundaes.pdf&access=private](http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=243&fname=Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf&access=private)

CPRM. Serviço Geológico do Brasil (2020). Prevenção de Desastres. Produtos por Estado - **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. Recuperado em: 06 de julho de 2020, de [www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Produtos-por-Estado—Cartas-deSuscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-5384.htm](http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Produtos-por-Estado—Cartas-deSuscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-5384.htm)

Federal Emergency Management Agency (2020). **Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping: Floodway Analysis and Mapping**.

JOHNSON, W. K. **Physical and economic feasibility of nonstructural flood plain management measures**. Davis: Hydrologic Engineer Center, 1978.

Larentis, D. G., Nogare, M., Tucci, C. E. M., Pohlmann, P. (2020). **Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas**. Revista de Gestão de Água da América Latina, 17, e13. <https://doi.org/10.21168/rega.v17e13>

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – Unesco, 2005.