



Campos dos Goytacazes/RJ

MAPEAMENTO DE PERIGO E RISCO À INUNDAÇÃO DAS MARGENS DOS RIOS PARAÍBA DO SUL, BARRA MANSA, BANANAL E BOCAINA, EM BARRA MANSA/RJ

Daniele Pereira Batista Amaral¹; Jéssica do Nascimento Pereira²; Evaldo Gomes Correia³; Fernanda Spitz Dias⁴; Larissa Ferreira da Costa⁵; William Pontes Holetz⁶.

RESUMO

A ocorrência de eventos hidrológicos extremos tem preocupado cada vez mais as instituições públicas e privadas, no Brasil e no mundo, uma vez que as inundações vêm causando, anualmente, elevados prejuízos à população, infraestrutura e aos serviços localizados nas áreas de risco. Frequentemente, o município de Barra Mansa, localizado na região sul do Estado do Rio de Janeiro, enfrenta problemas causados por inundações na sua área urbana nas margens do rio Paraíba do Sul e de seus principais afluentes, os rios Barra Mansa e Bananal e seu tributário, Bocaina. Nesse contexto, o presente artigo apresenta a metodologia utilizada no mapeamento das áreas de perigo e risco à inundação para as Áreas de Preservação Permanente (APPs) dos principais rios do município. Como resultado foram obtidos os mapas de perigo e risco à inundação para o rio Paraíba do Sul, referente à vazão associada ao tempo de recorrência (TR) de 25 anos, e para os rios Barra Mansa, Bananal e Bocaina, ao TR de 50 anos. Esse trabalho integra o portfólio do Programa Estadual de Segurança Hídrica (Prosegh), desenvolvido pelo Instituto Estadual do Ambiente (Inea/RJ), tendo como um dos principais objetivos subsidiar a proposição de medidas para prevenção e mitigação das inundações ocorridas na região.

ABSTRACT

The occurrence of extreme hydrological events has increasingly concerned public and private institutions, in Brazil and world, since floods have been causing, every year, huge damages to the population, infrastructure and services located in risk areas. Barra Mansa city, located in the southern region of Rio de Janeiro State, frequently faces problems caused by flooding of Paraíba do Sul River in its urban area, as well as its main tributaries, Barra Mansa River, Bananal River and its tributary, Bocaina River. In this context, this article presents the methodological procedures used to mapping flood hazard and risk areas in Permanent Preservation Areas (from Portuguese, APP) of main rivers in the city. As a result of this methodology application, maps of flood hazard and risk for Paraíba do Sul River considering flow rates of 25-year return period and for Barra Mansa, Bananal and Bocaina rivers for 50-year return period flood were obtained. This work is part of the portfolio of the State Program of Water Security (from Portuguese, Prosegh), developed by the Environment State Institute (from Portuguese, Inea/RJ), having as one of the main objectives to subsidize the proposition of measures for prevention and mitigation of floods that occur in the region.

PALAVRAS CHAVES: *Modelagem hidrodinâmica, Perigo, Risco a inundações.*

1) Engenheira Civil do Serviço de Risco de Inundações e Segurança de Barragens, do Inea, RJ/Brasil, e-mail: danielepb.inea@gmail.com.

2) Engenheira Civil e mestrandia do Programa de Engenharia Urbana (PEU/UFRJ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ/Brasil, e-mail: jess.nasc.per@poli.ufrj.br.

3) Estatístico e Geomata da COHIDRO - Consultoria Estudos e Projetos, RJ/Brasil, e-mail: evaldocorreia@cohidro.com.br.

4) Engenheira Civil e Chefe do Serviço de Risco de Inundações e Segurança de Barragens, do Inea/RJ, RJ/Brasil, e-mail: fernandasd.inea@gmail.com.

5) Engenheira Civil e Gerente de Segurança Hídrica do Inea/RJ, RJ/Brasil, e-mail: larissafcosta.inea@gmail.com

6) Graduando em engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente e estagiário do Serviço de Risco de Inundações e Segurança de Barragens, do Inea/RJ, RJ/Brasil, e-mail: wpholetz.inea@gmail.com.



Campos dos Goytacazes/RJ

INTRODUÇÃO

Segundo o mapeamento realizado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), cerca de 9,5 milhões de brasileiros moram em áreas de risco sujeitas a deslizamentos de terra, enchentes e outros desastres climáticos, sendo a maior parte dessas áreas de risco localizada em municípios próximos do litoral brasileiro (EBC, 2022).

Há alguns anos, as soluções para inundações eram principalmente constituídas por medidas clássicas de controle de cheias, onde a redução das áreas inundáveis era o principal objetivo. Atualmente, o conceito de gestão de risco vem ganhando espaço nas discussões sobre inundações, concentrando esforços não somente na sua redução, mas também em como diminuir os riscos associados, preocupando-se não somente com a drenagem, mas também com o custo econômico e social (Miguez *et al.*, 2018). No Brasil, por muito tempo, as ações foram majoritariamente relacionadas à “gestão da crise”, que trata de ações de resposta e atendimento de emergências após a ocorrência dos eventos, entretanto, deve-se buscar ações para a “gestão do risco”, que envolve medidas de identificação, prevenção e redução dos riscos.

O Estado do Rio de Janeiro (ERJ) figura entre os estados brasileiros com maior ocorrência de desastres naturais e vivencia sucessivas e impactantes tragédias ocasionadas por chuvas intensas. A alta ocorrência de inundações no ERJ se deve, em grande parte, aos elevados índices de pluviosidade, ao relevo acidentado e às particularidades da sua hidrografia, composta por muitos rios e córregos com alta declividade, que drenam grandes quantidades de água para as baixadas. Além disso, os impactos das inundações são potencializados em função da ocupação desordenada das margens de rios e das planícies de inundação, da degradação dos taludes e do assoreamento dos rios, tornando-se um grave problema socioambiental do estado. Nesse contexto, tem-se o município de Barra Mansa, que possui boa parte de sua população ocupando as margens dos rios e que frequentemente sofre as consequências das inundações. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o mapeamento de perigo e risco à inundação desenvolvido para as Áreas de Preservação Permanente (APPs) dos rios Paraíba do Sul, Barra Mansa, Bananal e Bocaina, localizados no município de Barra Mansa – RJ, que integram as ações desenvolvidas pelo Poder Público do ERJ para prevenção e mitigação dos problemas associados à ocupação irregular e aos eventos de inundações ocorridos na região.



Campos dos Goytacazes/RJ

CONCEITO DE RISCO E SEUS COMPONENTES

O conceito de risco possui significado variável, de acordo com o contexto em que está inserido, seja ele social, econômico ou ambiental. No campo da engenharia, o risco está relacionado tanto à probabilidade de ocorrência de um evento, quanto ao seu potencial de perdas. Assim, o risco estaria dividido em dois componentes: um que se refere à probabilidade de ocorrência de um evento e outro, relativo às suas consequências. Esta é uma definição tradicionalmente utilizada e aceita quando se trata do risco de cheias, sendo, portanto, adotada no presente estudo.

O risco está condicionado à existência de um perigo ou ameaça. É comum que os termos risco e perigo sejam confundidos na linguagem cotidiana, no entanto, não são sinônimos dentro da terminologia técnica. O perigo se refere à situação que tem potencial para causar danos e ameaça a existência ou os interesses de pessoas, propriedades ou meio ambiente, sendo, no contexto de risco de inundação, representado pela chuva (CETESB, 2003). No entanto, a simples ocorrência deste evento não determina a presença de risco, o qual também dependerá da avaliação quanto à vulnerabilidade de pessoas e/ou bens passíveis de serem afetados.

A componente do risco de cheia relativa à probabilidade pode ser associada ao conceito de tempo de recorrência (TR) da vazão que dá origem ao evento de inundação. O tempo de recorrência de um evento (medido em anos) designa o intervalo de tempo médio em que este evento é igualado ou superado e é, também, o inverso da frequência anual com que a vazão é igualada ou superada. Desta forma, o tempo de recorrência está associado a uma vazão máxima, que, por sua vez, determinará características específicas da inundação, tais como altura, área, velocidade e duração da cheia.

Quanto à componente do risco relativa às consequências da cheia, ela pode ser definida em função da exposição e da vulnerabilidade dos elementos sob risco. A exposição ao risco refere-se à quantidade e qualidade dos elementos (número de pessoas e propriedades) que podem ser afetados por um evento, enquanto a vulnerabilidade resulta da suscetibilidade e do valor associado a estes elementos, ou seja, a vulnerabilidade representa as propriedades de um sistema que descrevem seu potencial de ser danificado (Gouldby e Samuels, 2005).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Barra Mansa fica localizado às margens do rio Paraíba do Sul, na região fluminense do Médio Vale do Paraíba, entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, como pode ser visto na Figura 1. O município ocupa uma área de 547,22 km² (IBGE, 2021), correspondente a 8,8% da área da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul (RH-III).



Figura 1 – Mapa de Localização do Município de Barra Mansa no ERJ

O município de Barra Mansa, assim como os demais municípios do Vale do Paraíba, enfrenta frequentemente problemas causados por inundações da sua área urbana nas margens do rio Paraíba do Sul e em maior magnitude nos seus principais afluentes, os rios Barra Mansa e Bananal, e seu tributário, Bocaina. Alguns aspectos contribuem para a intensificação dessas inundações, como a ocupação das calhas dos rios, além de obstruções e estrangulamento das suas seções de escoamento.

Os trechos de rios estudados apresentam a seguinte configuração:

- Rio Paraíba do Sul: 23 km de comprimento, percorrendo todo o município de Barra Mansa;
- Rio Barra Mansa: 6 km de comprimento a partir da sua foz;
- Rio Bananal: 10 km de comprimento a partir da sua foz;
- Rio Bocaina (afluente do rio Bananal): 4 km de comprimento a partir da sua foz.

O presente trabalho é parte integrante do “*Projeto de Regularização Fundiária das Margens dos rios Paraíba do Sul, Barra Mansa, Bananal e Bocaina, em Barra Mansa - RJ*”, licitado pelo



Campos dos Goytacazes/RJ

Inea/RJ, órgão ambiental e gestor de recursos hídricos do ERJ, e vem sendo desenvolvido pela consultora COHIDRO – Consultoria Estudos e Projetos Ltda. Seus principais objetivos são a proposição de um Zoneamento Ambiental para as APPs dos rios Paraíba do Sul, Barra Mansa, Bananal e Bocaina no município de Barra Mansa, identificando as regiões passíveis ou não de regularização fundiária, com intuito principal de conter e evitar futuras ocupações irregulares; e a elaboração de projetos e definição dos procedimentos necessários para prevenção e mitigação dos problemas associados à ocorrência de inundações e ocupação irregular das APPs dos rios em estudo.

METODOLOGIA

Modelagem Hidrodinâmica

Os estudos envolveram a execução de serviços de campo, como levantamentos topobatimétricos e hidrométricos, caracterização do uso e ocupação do solo e estudos hidrológicos. Esses serviços forneceram as informações necessárias para realização das simulações hidrodinâmicas, que foram processadas através da utilização do modelo HEC-RAS 5.0.7 (*Hydrologic Engineers Corps - River Analysis System*).

As simulações hidrodinâmicas nos corpos hídricos em estudo consideraram as vazões obtidas nos estudos hidrológicos para os tempos de recorrência de 10, 25, 50 e 100 anos.

Mapeamento de Perigo à Inundação

Há diversos estudos experimentais, incluindo DEFRA/EA (2003) e Kelman (2002), que utilizam o chamado “fator de velocidade” (velocidade dinâmica), resultante do produto da cota de inundação pela velocidade, para determinar níveis de perigo, em função dos prejuízos e danos causados.

A metodologia adotada neste estudo baseou-se no trabalho de dissertação desenvolvido por Zonensein (2007), onde o índice de perigo (ou ameaça) é definido como uma função da lâmina de inundação e da velocidade dinâmica e constitui um subíndice que irá compor o índice de risco. Dessa forma, adotou-se como parâmetro de perigo à inundação (*Flood Hazard*) as profundidades de lâmina d’água na planície de inundação associadas à velocidade dinâmica, decorrentes dos estudos obtidos através da modelagem hidrodinâmica, consolidando assim o Mapeamento de Perigo à Inundação, dividido em 05 (cinco) classes, variando de muito baixo a muito alto.



Campos dos Goytacazes/RJ

Mapeamento de Risco à Inundação

Para a delimitação do mapeamento de risco à inundação foi realizada uma adaptação do método desenvolvido no trabalho de Zonensein (2007), que consiste na utilização de um índice de risco de cheia (IRC), que se baseia em uma análise multicritério representada por um índice quantitativo, variável entre 0 e 1, conjugando fatores relacionados às características da inundação, da população exposta ao evento e do uso e ocupação do solo. Uma vez normalizados, esses fatores formam uma equação simples, composta de somas e produtos ponderados. Esse índice possibilita a identificação de zonas críticas e a necessidade de soluções para mitigação do risco.

Para a obtenção do índice final de risco foi elaborada uma matriz de avaliação (*Payoff*) para a definição da importância de cada indicador ou subíndice que integram a equação final do IRC. Cada par de subíndice (por exemplo, perigo e vulnerabilidade) foi comparado estabelecendo-se fatores numéricos de ponderação de acordo com uma análise hierárquica da importância de um em relação ao outro. No presente trabalho considerou-se um fator de ponderação exponencial (para a melhoria da amplitude da escala) de 0,6 para o perigo e de 0,4 para vulnerabilidade.

Dessa forma, a equação genérica do índice de risco de cheia assumiu a seguinte forma:

$$IRC = (V_d \times 0,25 + h \times 0,75)^{0,6} \times v^{0,4} \quad (1)$$

Onde:

IRC - Índice de Risco de Cheia;

V_d - Velocidade dinâmica (em m^2/s);

h - Lâmina d'água de inundação (em m);

v - Índice numérico da vulnerabilidade (adimensional).

Para expressar os resultados no mapeamento de risco elaborado, foi adotada a escala adaptada de Zonensein (2007), onde o IRC pode ser classificado como muito baixo (0,00 a 0,15), baixo (0,15 a 0,25), médio (0,25 a 0,50), alto (0,50 a 0,75) e muito alto (0,75 a 1,00).

RESULTADOS

As simulações hidrodinâmicas foram realizadas para as vazões máximas de cheia correspondentes aos TRs de 10, 25, 50 e 100 anos. Os resultados das simulações no modelo hidrodinâmico foram validados através de visitas técnicas realizadas no município de Barra Mansa, fotos e registros de inundações anteriores e informações da Defesa Civil e Secretarias de Meio Ambiente municipais, além da população local.

A partir das manchas de inundação foram elaborados mapas de perigo correlacionando os níveis d'água máximos (profundidade) e as velocidades máximas ao longo da zona de inundação. Para o rio Paraíba do Sul foi adotada a vazão referente ao TR de 25 anos, em função do controle de cheias proporcionado pela Usina Hidrelétrica (UHE) de Funil, localizada a montante do município, e para os rios Barra Mansa, Bananal e Bocaina a vazão referente ao TR de 50 anos, devido à criticidade e ao histórico de cheias desses rios.

As Figuras 2 e 3 apresentam o mapa de perigo desenvolvido para um trecho dos rios Paraíba do Sul, Barra Mansa, Bananal e Bocaina.

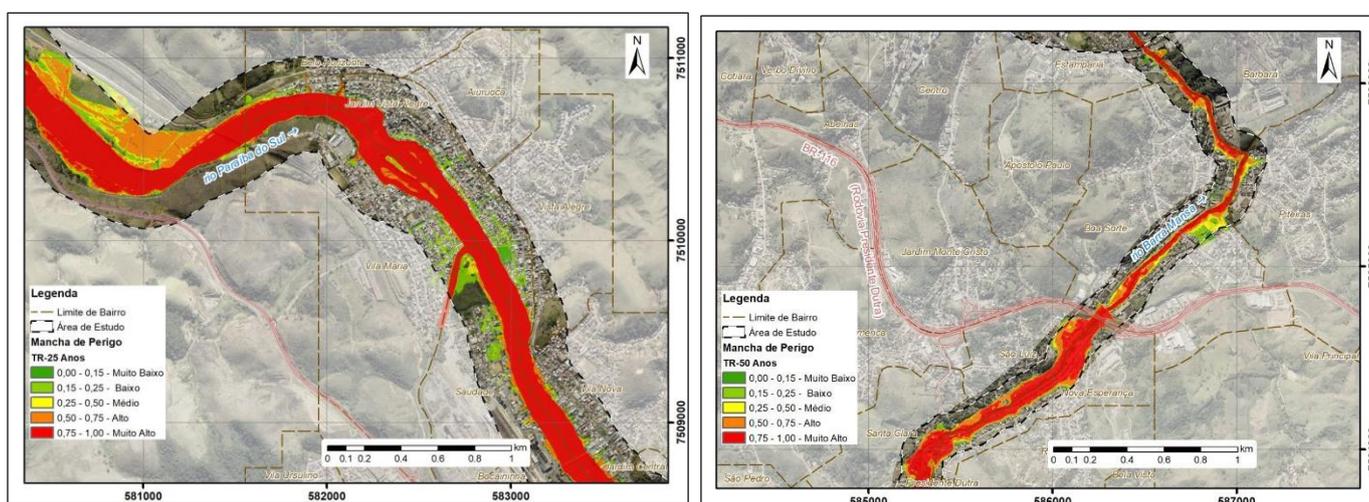


Figura 2 – Resultado do mapa de perigo para um trecho do rio Paraíba do Sul (à esquerda) e para um trecho do rio Barra Mansa (à direita)

Campos dos Goytacazes/RJ

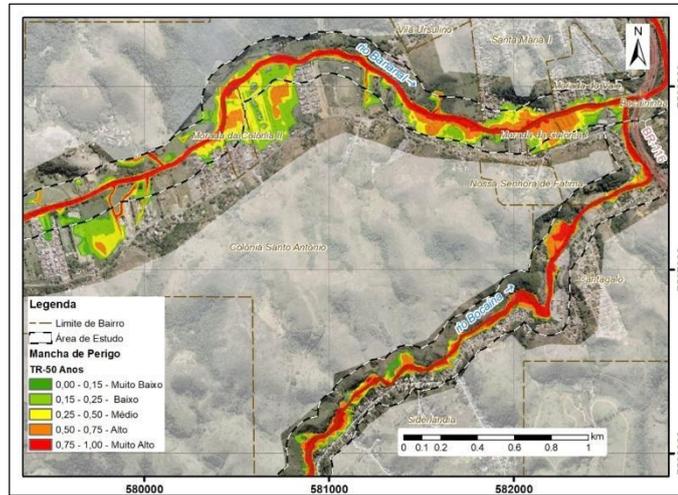


Figura 3 – Resultado do mapa de perigo para um trecho dos rios Bananal e Bocaina

Por fim, foram elaborados os mapas de risco à inundação, associando o perigo nas áreas atingidas pelas cheias e a vulnerabilidade da região, definida através do uso e ocupação do solo. Dessa forma, foi elaborado o Mapa de Risco para o rio Paraíba do Sul referente ao TR de 25 anos e para os rios Barra Mansa, Bananal e Bocaina referentes ao TR de 50 anos, conforme pode ser visto nas Figuras 4 e 5.

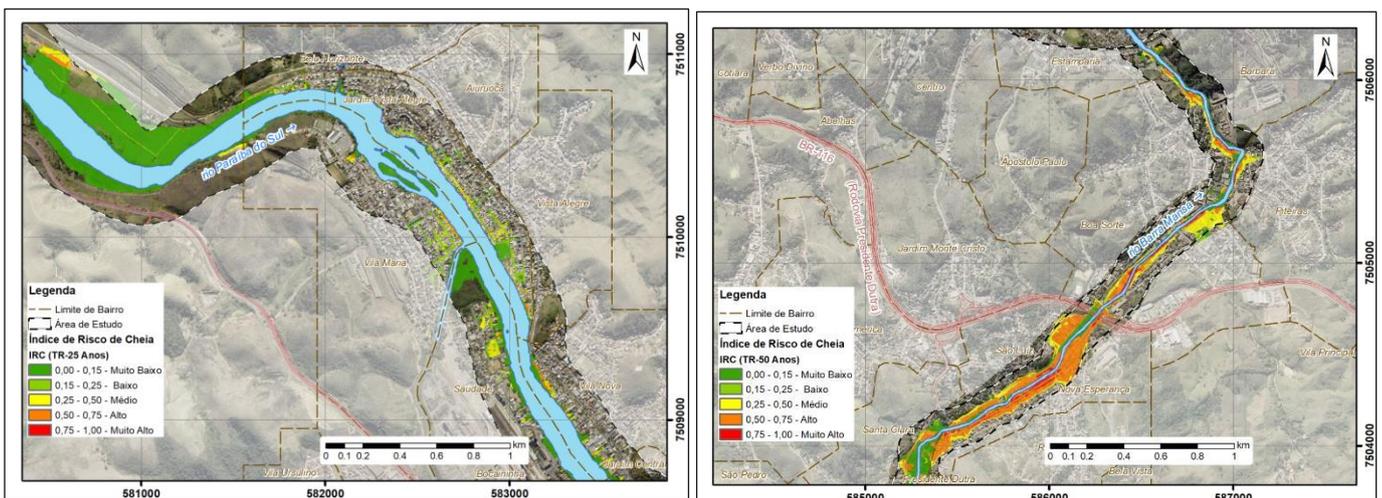


Figura 4 – Resultado do mapa de risco para um trecho do rio Paraíba do Sul (à esquerda) e para um trecho do rio Barra Mansa (à direita)

Campos dos Goytacazes/RJ

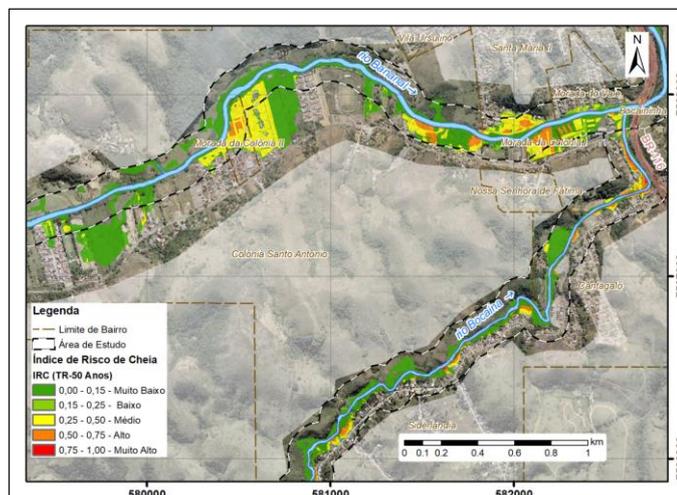


Figura 5 – Resultado do mapa de risco para um trecho dos rios Bananal e Bocaina

Evidencia-se a criticidade das ocupações na APP do rio Barra Mansa, onde a profundidade da lâmina d'água para o TR de 50 anos pode chegar a mais de 3,0 m de altura, representando um risco muito alto à população ali residente.

Cabe destacar que os mapas de perigo e risco foram encaminhados para análise da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SMMADS) de Barra Mansa que, junto com a Defesa Civil Municipal, validou os resultados. Os mapeamentos desenvolvidos permitem identificar as regiões mais sensíveis à ocorrência de inundações e irão subsidiar o planejamento de medidas para prevenção e mitigação dos danos associados à ocorrência de eventos extremos, bem como fornecerão subsídios aos gestores municipais para avaliação do ordenamento territorial na região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O número de casos de inundações tem se elevado a cada ano, principalmente pela ocorrência de precipitações mais intensas e pelo crescimento desordenado da ocupação das cidades. A questão torna-se ainda mais delicada quando se tratam de pequenas bacias hidrográficas em regiões de densa urbanização, já que o aumento de áreas impermeáveis altera as condições de escoamento natural nos terrenos, diminuindo o tempo de concentração nas bacias de drenagem e aumentando progressivamente as vazões e os danos ocasionados pelas inundações.

Nesse contexto, os mapeamentos de perigo e risco configuram-se como importantes ferramentas de auxílio ao planejamento e ordenamento territorial, a fim de nortear a prefeitura no



Campos dos Goytacazes/RJ

estabelecimento de um conjunto de regras para a ocupação das áreas sujeitas à inundação, visando à minimização de perdas humanas e econômicas em face da ocorrência de eventos extremos desta natureza.

Os referidos mapeamentos constituem-se ainda em instrumentos para definição das ações estruturais e não estruturais (estruturantes) para mitigação das inundações ocorridas no município de Barra Mansa, além de subsidiar a identificação das regiões passíveis ou não de regularização fundiária, conforme legislação pertinente.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Estadual do Ambiente, por subsidiar a participação nesse Simpósio, à consultora COHIDRO e à Prefeitura Municipal de Barra Mansa, por todo o apoio dispensado ao longo do desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- CETESB** (2003). *Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos*, v. 01, São Paulo.
- Defesa Civil**. (2007). Glossário de defesa civil – estudos de riscos e medicina de desastres.
- DEFRA/EA** (2003). “*Risk to People*”, In: *Flood and Coastal Defence R&D Programme*. Technical Report FD2317, Londres, Reino Unido.
- EBC** (2022). Empresa Brasileira de Comunicação. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2022-02/95-milhoes-de-brasileiros-moram-em-areas-de-risco>. Acesso em fevereiro de 2023.
- EM-DAT**. EM-DAT - *The Emergency Events Database*. Disponível em: <https://www.emdat.be/emdat_atlas/sub_html_pages/sub_html_BRA.html>. Acesso em: 13 maio. 2020.
- Gouldby, B., Samuels, P.** (2005), *Language of Risk – Project definitions*. In: Floodsite Report.
- HEC-RAS River Analysis System**. US Army Corps of Engineers. Hydrologic. Engineering Davis, CA, USA. 2019. Disponível em: <<https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/download.aspx>>. Acesso em abril de 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades. 2021. Disponível em:< <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/barra-mansa/panorama>> Acesso em: 29 de abril de 2022.
- Kelman, I** (2002). *Physical Flood Vulnerability of Residential Properties in Coastal*. Eastern England, Ph. D. University of Cambridge, Reino Unido.
- Míguez, M. G., Di Gregório, L. T.; Veról, A. P.** (2018). *Gestão de riscos e desastres hidrológicos*. (1 ed.). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier.
- Zonensein, J.** (2007). “*Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes.*” M. Sc. Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.