



MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO CAPIVARI:

Construção de parâmetros hidrológicos e topográficos utilizando modelo HAND e morfometria¹

Dimitrie Hristov Junior ²

Raul Reis Amorim ³

RESUMO

A ocorrência de inundações em sistemas antrópicos se constitui como uma das principais causas da deflagração de desastres no Brasil, onde os desastres de cunho hidrológico são muito frequentes dado o clima do país. Diante deste cenário, compreender a dinâmica de inundações é importante para a mitigação de danos e gestão de riscos em relação a este tipo de evento, sendo a suscetibilidade, ou seja, propensão ao desenvolvimento do fenômeno no meio físico, importante dimensão para a análise de riscos. Para compreender a dinâmica das inundações na paisagem do rio Capivari, localizado no Estado de São Paulo, foi empregada a análise de parâmetros hidrológicos e topográficos da paisagem em ambiente SIG para a construção de um indicador de suscetibilidade a inundações, utilizando um MDE (Modelo Digital de Elevação) FABDEM, derivado do MDS (Modelo Digital de Superfície) Copernicus DEM da Agência Espacial Europeia, com resolução espacial de 30m e empregando a modelagem HAND (*Height Above Nearest Drainage*), utilizada para delimitação de planícies de inundação da bacia hidrográfica e a análise das variáveis morfométricas propostas pela literatura: Área de contribuição; Densidade de drenagem; Relação de relevo; Índice de circularidade e Índice de sinuosidade. Com a análise e Overlay topológico de todos os parâmetros produzidos na análise hidrológica, foi possível mensurar as áreas sujeitas a inundações na região de interesse, bem como o grau de suscetibilidade de cada sub-bacia do Rio Capivari, gerando uma carta de suscetibilidade a inundações para a bacia. O mapeamento de suscetibilidade se fez potente subsídio para a gestão de riscos, e constitui uma dimensão importante para a posterior compreensão do risco a inundações na região da Bacia Hidrográfica.

INTRODUÇÃO

Inundações são fenômenos associados à dinâmica fluvial das bacias de drenagem, sendo o processo de transbordamento do fluxo de água dos canais dos rios (Keller e Blodgett, 2004). Sua ocorrência em zonas povoadas pode gerar impactos sociais e econômicos que, ao excederem a capacidade dos afetados de conviver com o fenômeno, deflagram desastres (Tobin e Montz, 1997; Nunes, 2015; Marcelino, 2008).

¹ Pesquisa derivada do Projeto de pesquisa “INUNDAÇÕES À LUZ DA TEORIA DO RISCO: Uma análise dos municípios de Capivari (SP) e Monte Mor (SP) através de indicadores sintéticos”, financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP);

² Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, d188401@dac.unicamp.br;

³ Professor orientador: Doutor em Geografia, Instituto de Geociências - UNICAMP, raulreis@unicamp.br.



A bacia do rio Capivari, selecionado como região de interesse para o trabalho, possui extenso histórico de deflagração de desastres, sendo recorrentes inundações em área urbana nas estações chuvosas, com destaque para o verão⁴, e impactos sociais como deslocamento forçado da população.

Um conceito chave para o estudo dos impactos destes fenômenos e a potencialidade de deflagração de desastres é o risco, uma dimensão híbrida entre condições físicas, vinculadas à ocorrência dos fenômenos, e sociais, vinculadas à vulnerabilidade dos indivíduos expostos aos eventos (Lourenço e Almeida, 2018).

De modo a contribuir para o estudo dos riscos relacionados a inundações na bacia do rio Capivari, o presente trabalho toma como foco a análise da suscetibilidade aos eventos, isto é, a predisposição ou propensão ao desenvolvimento do fenômeno ou processo do meio físico (Bitar *et al*, 2014), uma das dimensões que compoentes da análise de riscos (Lourenço e Almeida, 2018).

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A análise da suscetibilidade a inundações na bacia se deu através de parâmetros hidrológicos e topográficos, utilizando-se do Modelo Digital de Elevação FABDEM V 1-2 (Neal e Hawker, 2023), com resolução espacial de 30 metros, para a extração das informações fisiográficas as a serem trabalhadas em ambiente SIG.

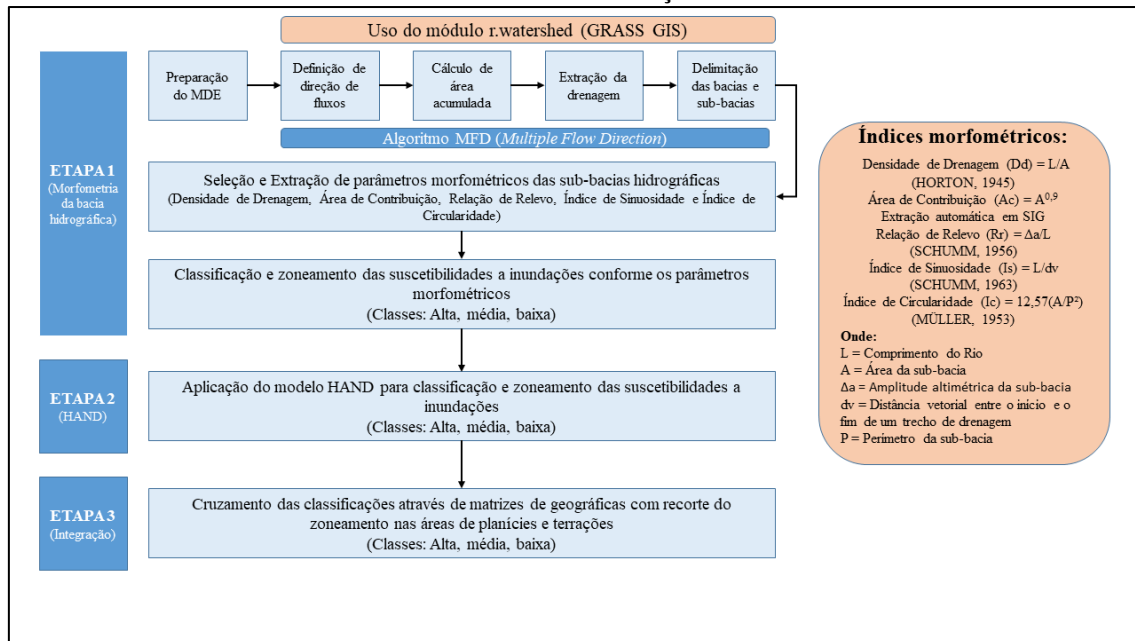
O trabalho percorreu 3 etapas (Figura 1) baseadas na metodologia proposta por Bitar *et al* (2014), com a elaboração dos procedimentos no software Quantum GIS 3.4 através do plugin GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*), no qual foram inicialmente extraídas informações acerca de direção e acúmulo de água no terreno através do algoritmo MFD (Multiple Flow Direction), que pondera o escoamento de fluxo em todas as células de menor altitude relativa a cada pixel. Além de posteriormente canais e bacias de drenagem utilizando-se das primeiras informações coletadas, estes dados foram qualificados através de fotointerpretação com o apoio de

⁴ Alguns exemplos de notícias do último verão (2024-2025) sobre as inundações na bacia do rio Capivari: 1) [Com desalojados e inundações, Monte Mor tem maior volume de chuva do estado; veja previsão](#); 2) [Rio transborda e 20 famílias de Monte Mor precisam deixar casas; veja pontos de alagamentos](#); 3) [Capivari tem 16 pontos de alagamentos e 144 famílias deixam casas após rio transbordar; veja cenário](#); 4) [Capivari tem 36 pontos de alagamento após rio transbordar e 40 famílias precisam deixar casas; veja locais afetados](#); 5) [Rio Capivari atinge 4,5m em Monte Mor e 2,76m em Capivari](#)



uma imagem do satélite CBERS 04-A, derivada de seu sensor WPM em composição de cor verdadeira, onde foi possível excluir exageros da análise de terreno e corrigir a sinuosidade de alguns canais.

Figura 1 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos para a delimitação de áreas suscetíveis a inundações



Fonte: Baseado em Bitar *et al*, 2014.

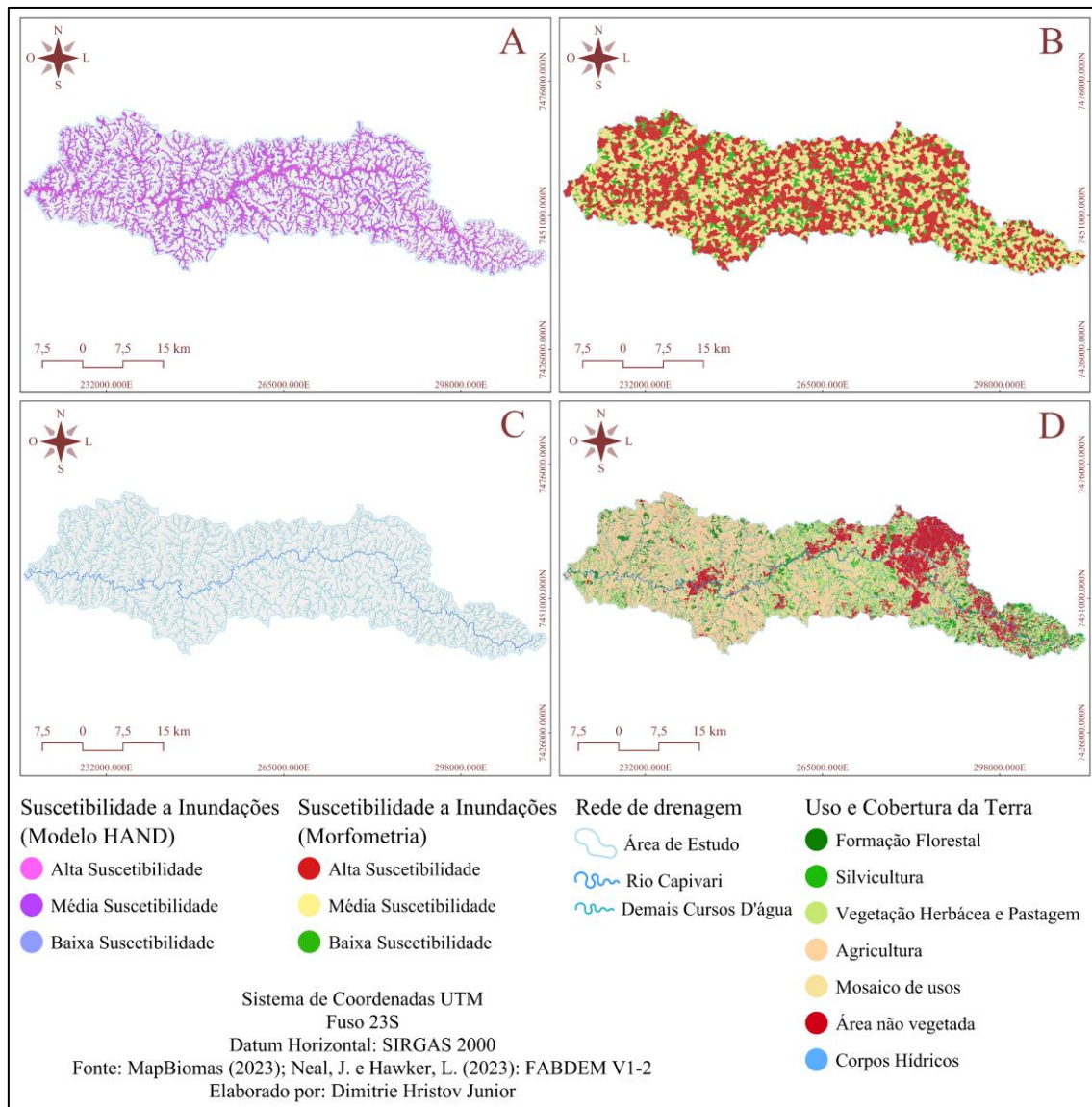
Com a rede de drenagem extraída (Figura 2), foram selecionados 5 índices morfométricos para a elaboração de um grau de suscetibilidade para cada sub-bacia, sendo eles: 1) Densidade de Drenagem, diretamente proporcional à velocidade com a qual a água atinge o rio; 2) Área de contribuição, associada ao volume de água captada para o canal de drenagem; 3) Relação de Relevô, relacionada à velocidade de escoamento da água, desfavorecendo o seu acúmulo na bacia quando elevada; 4) Índice de Sinuosidade, inversamente proporcional à velocidade do escoamento da água; 5) Índice de Circularidade, diretamente proporcional à retenção de água na bacia.

Assim, dentre esses índices, quatro são diretamente proporcionais à suscetibilidade ao fenômeno, com a exceção da Relação de Relevô, estes foram normalizados de 1 a 5 conforme grau de suscetibilidade e integrados através de soma de matrizes geográficas, posteriormente sendo divididos entre classes de suscetibilidade alta, média ou baixa conforme uma divisão em quartis, sendo o primeiro quartil um grau de suscetibilidade baixo, 2º e 3º médio e 4º alto (Figura 2).

Como segunda etapa da análise, foi elaborada uma suscetibilidade através de um modelo HAND (Nobre *et al*, 2011; Magdalena, Amorim e Alves, 2019), em

software homônimo, onde se delimitou através da altura relativa à rede drenagem, planícies e terraços fluviais, com o estabelecimento de graus de suscetibilidade em três faixas de altura: Alta suscetibilidade até 4m de altura, Média suscetibilidade entre 4 e 8 metros de altura e baixa suscetibilidade entre 8 e 12 metros. (Figura 2)

Figura 2 – A) Suscetibilidade definida através do modelo HAND; B) Suscetibilidade definida através da análise morfométrica; C) Rede de drenagem extraída do MDE; D) Uso e cobertura da terra na bacia.



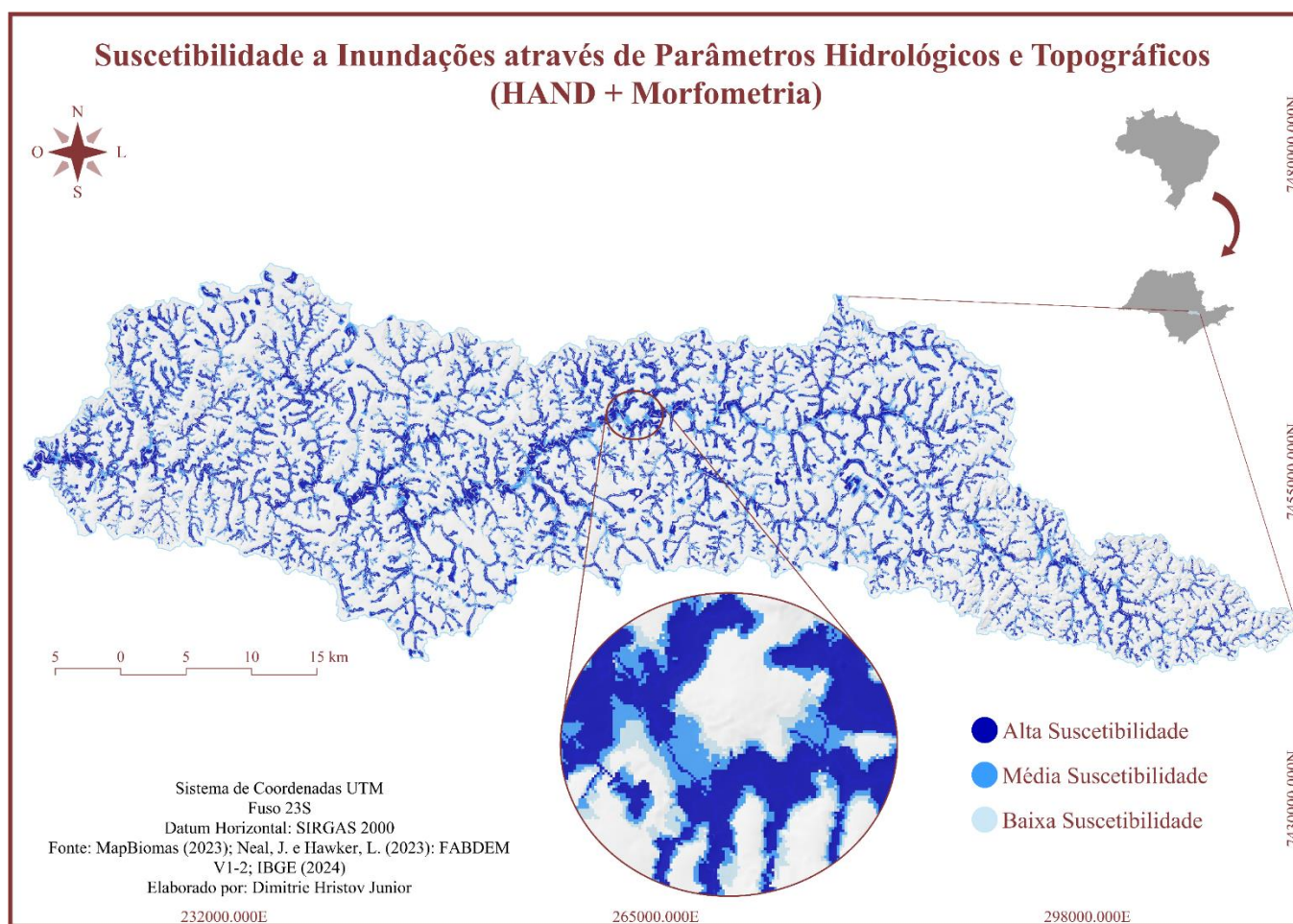
Fonte: O autor (2025).

Por fim, as duas definições de suscetibilidade foram integradas em uma soma de matrizes geográficas para gerar um mapeamento de suscetibilidade a inundações final, o qual foi posteriormente analisado em conjunto ao uso e cobertura das terras na bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal resultado da pesquisa foi o mapeamento em escala de semidetalhe da suscetibilidade na região da bacia do capivari (Figura 3), sendo as principais planícies fluviais com alta suscetibilidade ao fenômeno identificadas coincidentes com os municípios mais atingidos por desastres relacionados ao fenômeno na bacia: Capivari, Monte Mor e Campinas.

Figura 3 – Suscetibilidade a inundações na Bacia do Rio Capivari

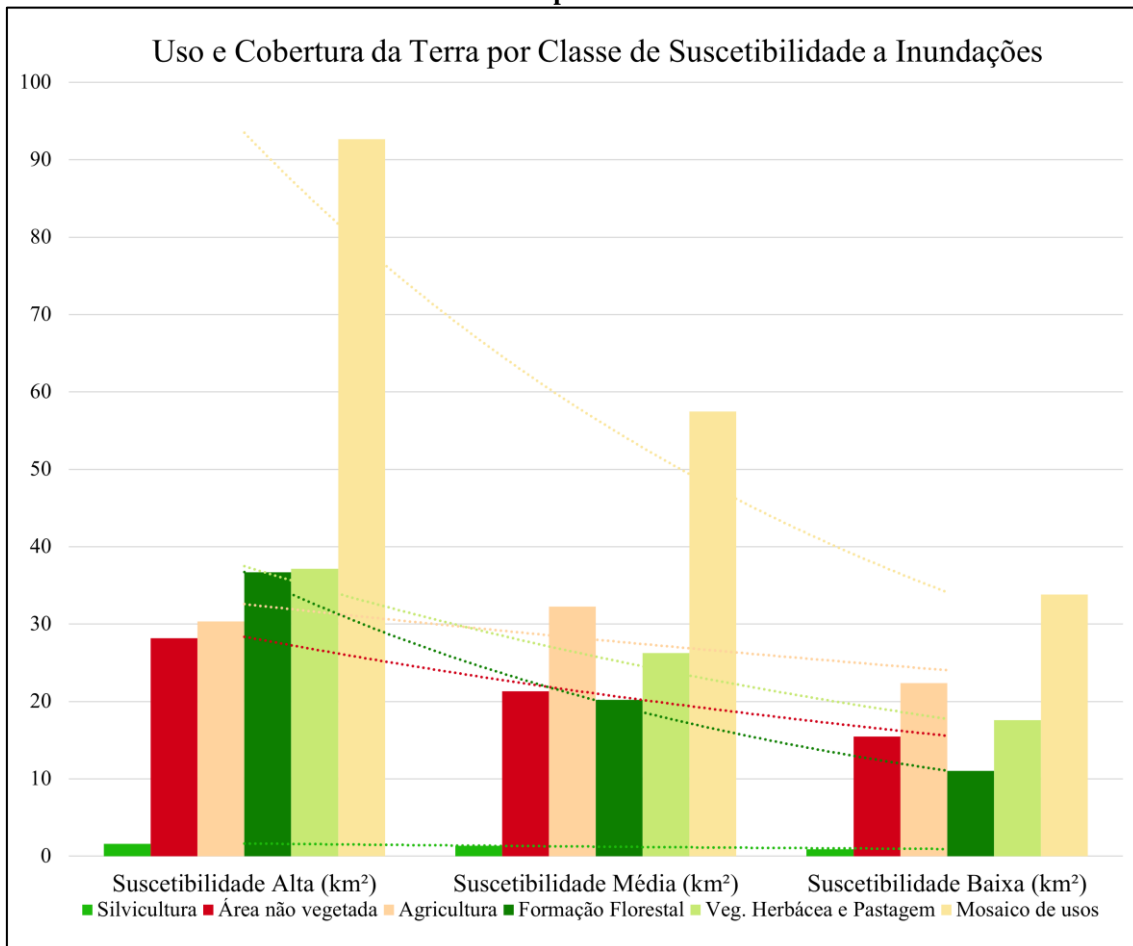


Fonte: O autor (2025).

Ao todo, foram contabilizados cerca de 101 km² da bacia como áreas de baixa vulnerabilidade, 158 km² como média e 225 km² como alta suscetibilidade. Tais áreas foram destrinchadas também em relação aos diferentes tipos de uso que as compõem (Figura 4), onde foi possível observar uma tendência de aumento das áreas definidas enquanto formação florestal nas zonas de alta suscetibilidade, possivelmente relacionadas à presença de matas ciliares ao longo dos rios.

A principal classe de uso identificada nas áreas suscetíveis foi “mosaico de usos”, uma categoria criada pelo MapBiomas, fonte deste mapeamento de uso da terra, que define-se enquanto uma área de uso indeterminado, sendo esta a principal limitação da análise com estas fontes de dados.

Figura 4 – Uso e cobertura da terra por classe de suscetibilidade a inundações na Bacia do Rio Capivari



Fonte: O autor (2025).

Outra tendência notável na dinâmica dos usos da terra em áreas suscetíveis foi a presença de áreas não vegetadas nos três níveis, sendo esta classe majoritariamente composta por áreas urbanizadas dentro da bacia, locais de maior deflagração de desastres.

Também foi possível notar uma tendência de diminuição em números absolutos de todas as classes de uso conforme a moderação da suscetibilidade, com exceção da agricultura, que tem seu pico na suscetibilidade média. A alta concentração da classe mosaico de usos na suscetibilidade alta leva a crer que esta se caracterize



principalmente por remanescentes de mata nativa, com cobertura vegetal herbácea e ocupação humana rural, dada a dificuldade de diferenciação destas três coberturas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acreditamos que a metodologia utilizada se faz relevante para contribuir à elaboração posterior de uma cartografia dos riscos, sendo suas principais limitações a resolução das bases de dados utilizadas e, sobretudo, do mapeamento de uso e cobertura da terra utilizado.

A presença das maiores planícies fluviais se mostra como passo estratégico para a gestão e análise de riscos, por demarcar as possíveis áreas de exposição das populações, sendo uma das primeiras dimensões a serem avaliadas.

Palavras-chave: Morfometria da drenagem, HAND, Sistemas de Informação Geográfica, Desastres, Suscetibilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) que financiou, por meio do processo FAPESP 2025/02300-9, a pesquisa que possibilitou esse artigo.

REFERÊNCIAS

BITAR, O. Y. (coord.). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1:25.000**: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014. Disponível em:
https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16588/1/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf.

LOURENÇO, L.; ALMEIDA, A. B. de. Alguns conceitos à luz da teoria do risco. In: **Riscos e Crises**: da teoria à plena manifestação, v. VI da Série Riscos e Catástrofes: Uni Coimbra, p.17-77, 2018.

MAGDALENA, U. R.; AMORIM, R. R.; ALVES, I. S. V. Delimitation of flood areas with HAND algorithm in the Camanducaia river watershed, São Paulo, Brazil. **Modern environmental science and engineering**. New York, NY : Academic Star, 2019.. Vol. 5, no. 12 (Dec., 2019), p. 1152-1157.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias**: Conceitos Básicos. Cadernos Didáticos – Desastres Naturais e Geotecnologias. CRS/INPE. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, janeiro 2008.



NEAL, J.; HAWKER, L. **FABDEM V1-2**. Bristol: University of Bristol, 2023. <https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>

NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., HODNETT, M., RENNÓ, C.D., RODRIGUES, G., SILVEIRA, A., WATERLOO, M., SALESKA, S., Height above the Nearest Drainage: a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, 2011. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.051

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais**: abrangência América do Sul. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. **Natural hazards**: explanation and integration. New York: The Guilford Press, 1997.

