

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE POTENCIAL DE ENXURRADAS E ANÁLISE DA ACURÁCIA DOS MÉTODOS DE SUPORTE À DECISÃO¹

Willian Richard De Souza Cidral², Leonardo Romero Monteiro³, Ulisses Costa de Oliveira⁴.

¹ Vinculado ao projeto “Estudo da Concepção e Dinâmica de Enxurradas”

² Acadêmico do Curso de Engenharia Civil – CCT – Voluntário PIVIC

³ Professor Adjunto do Dep. de Engenharia Civil – CCT – leonardo.monteiro@udesc.br

⁴ Universidade Federal do Ceará, Dep. de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Pici

Enxurradas são inundações bruscas caracterizadas pelo seu alto poder destrutivo e pela elevação súbita das vazões e devido à sua previsibilidade limitada, são consideradas a classe de inundação mais perigosa (BRAUD *et al.*, 2018). Sendo assim, há a necessidade de mapear áreas potenciais e susceptíveis a esses eventos, bem como aprimorar a metodologia dos trabalhos que buscam sua previsão. Devido às características destes escoamentos, a ocorrência do fenômeno é associada a aspectos hidromorfológicos do local. O Índice de Potencial de Enxurradas (*Flash Flood Potential Index - FFPI*) é comumente utilizado para quantificar a suscetibilidade de determinada região à formação de tais escoamentos extremos por meio da combinação de parâmetros/fatores físicos que representam esses aspectos (SMITH, 2003).

O presente trabalho tem como objetivo a aplicação do FFPI no município de Joinville por meio de diferentes métodos de suporte à decisão utilizados na ponderação dos parâmetros físicos: Média Aritmética, *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (Fuzzy AHP) (SAATY, 1980; STEFANO *et al.*, 2014), de maneira que se possa investigar diferenças significativas Potencial de Enxurrada.

A área de estudo se caracteriza por ter um clima úmido e superúmido, mesotérmico e com curtos períodos de estiagem, possuindo uma média anual de precipitação na ordem de 2.200 mm. A umidade elevada associada às altas temperaturas nas estações mais quentes possibilitaram a acentuada pedogênese originando, predominantemente, solos que contribuem positivamente para o escoamento superficial (SEPUD, 2020). Devido aos altos índices pluviométricos, o município é atingido por desastres naturais como inundações e movimentos de massa (CPRM, 2018).

A julgar pelas características geográficas e hidrológicas da área de estudo, o FFPI baseou-se fundamentalmente em sete fatores, que foram selecionados como principais contribuintes: Coeficiente de Compacidade, Densidade de Drenagem, Índice Topográfico de Umidade, Uso do Solo, Declividade, Pedologia e Litologia. Cada um dos fatores foi avaliado qualitativamente. Os dados que consistem os fatores/critérios para esta análise são matriciais (quantitativos) que foram reagrupados em classes em função do valor do pixel e vetoriais (quantitativos e/ou qualitativos) que foram divididos em subcritérios e depois convertidos em matriciais para receberem uma análise quantitativa. Classes e subcritérios receberam pesos de 0 a 1, que se referem à importância que tal elemento tem como condicionante do fenômeno (MINEA, 2013; ZENG, *et al.*, 2016; ZAHARIA *et al.*, 2017; COSTACHE, 2019; THI *et al.*, 2020; POPA *et al.*, 2019). Em seguida, cada fator foi ponderado de acordo com a respectiva relevância global por meio dos métodos de suporte à decisão: Média Aritmética, AHP e Fuzzy AHP, usados neste estudo para modelar metadados sujeitos a incerteza humana em face da importância global de cada fator sobre outros, par a par. Cada método resultou em um Índice de Potencial de Enxurrada após o processamento em ambiente SIG. A aplicação da análise de variância (MONTGOMERY, 1991) mostrou haver diferenças significativas entre os métodos utilizados, com p-valor < 0,05. O Teste de Tukey, por sua vez, com duas amostras presumindo variâncias diferentes, mostrou que todos os métodos diferem entre si, com p-valor na ordem de 0,018 para a análise entre o

método AHP e Fuzzy; $1,1e-33$ para AHP e Média; e $2,8e-34$ entre os métodos Fuzzy e Média. Em seguida, procedeu-se análise de desempenho dos métodos, estimando-se a acurácia com base nos metadados de validação obtidos com as autoridades locais (CPRM, 2018) (Tabela 1).

Método de suporte à decisão	Média Aritmética	AHP	Fuzzy AHP
Acurácia do Índice (%)	55,70%	80,19%	77,18%

Tabela 1. Acurácia aferida dos métodos de suporte à decisão

O método AHP resultou no Índice de Potencial de Enxurradas (Figura 1) que obteve maior acurácia, tomando-se como base os metadados das autoridades locais pelo *Receiver Operating Characteristic* (ROSSI & REICHENBACH, 2016) apresentando-se neste estudo como o Índice de Potencial de Enxurradas mais apto à identificação de áreas propensas às inundações bruscas na área estudada, atingindo um score de 0,8019 sendo classificado segundo Pimiento (2010) como um modelo muito bom (Figura 2).

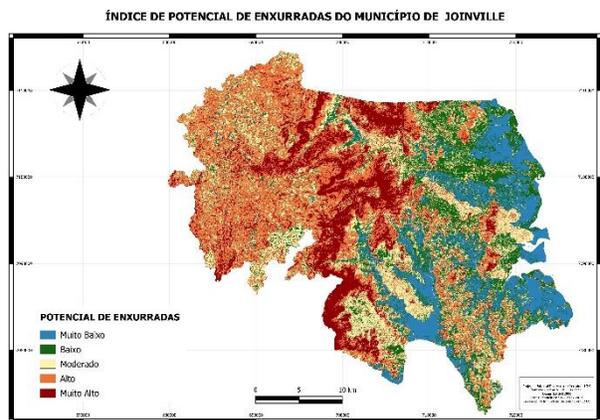


Figura 1. FFPI em Joinville.

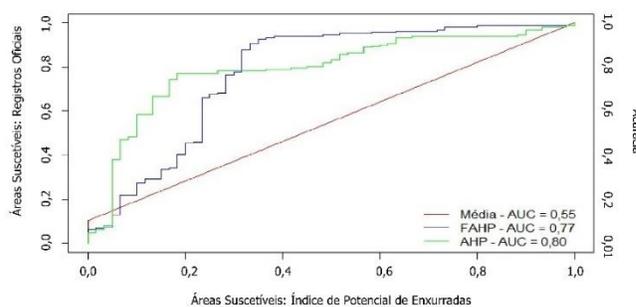


Figura 2. Curva ROC/AUC para validação do modelo de estimativa de áreas susceptíveis à ocorrência de enxurradas.

O FFPI ilustra que o maior potencial de enxurradas se encontra na região rural de Joinville devido às altas declividades do terreno acidentado, bem como regiões de acúmulos de fluxo em transições de declividades. Entretanto, em regiões urbanas próximas de morros, existem áreas de elevado potencial que devem ser estudadas com mais profundidade, por serem regiões com maior concentração populacional. Já, no litoral, predominam áreas planas de baixo potencial. Vale ressaltar que declividades muito superiores à 100% não representam adequadamente áreas de risco de enxurradas, pois tais áreas tendem a formar cachoeiras. O atual mapa poderá ser usado para a identificação de áreas de enxurradas no município pelas autoridades locais servindo como uma ferramenta prévia para o gerenciamento deste fenômeno natural, reduzindo o risco do desastre de enxurrada. Mesmo sendo uma ferramenta adequada, ainda assim poderá ser aperfeiçoado ao se realizar uma integração com o mapeamento de áreas torrenciais.

Palavras-chave: Mapa de suscetibilidade, Inundação brusca, Enxurrada.

REFERÊNCIAS

- BRAUD, I. et al. (2018). “The challenges of flash flood forecasting”, in *Mobility in the Face of Extreme Hydrometeorological Events 1: Defining the Relevant Scales of Analysis*. Org. por Lutoff, C. e Durand, S., ed. Elsevier, pp. 63 – 88.
- COSTACHE, R. (2019). “Flash-Flood Potential assessment in the upper and middle sector of Prahova river catchment (Romania): A comparative approach between four hybrid models”, *Science of the Total Environment*, v. 659, pp. 1115 – 1134.
- CPRM (2018). “Setorização de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações: Joinville, Santa Catarina”. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18722>. Acesso em: 5 abr. 2021.
- MINEA, G. (2013). “Assessment of the Flash Flood Potential of Basca River Catchment (Romania) Based on Physiographic Factors”, *Central European Journal of Geosciences*, v. 5(3), pp. 344 – 353.
- MONTGOMERY, D.C. (1991) *Design and Analysis of Experiments*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- PIMIENTO, E. *Shallow landslide susceptibility: modelling and validation*. Dept of Physical Geography and Ecosystem Science—Lund University. Thesis, 2010. pp 25–29.
- POPA, M. C. et al. (2019). “Flood Hazard Mapping Using the Flood and Flash-Flood Potential Index in the Buzau River Catchment, Romania”, *Water*, v. 11(2116), 25 p.
- ROSSI M, REICHENBACH P. *LAND-SE: a software for statistically based landslide susceptibility zonation, version 1.0*. *Geosci Model*, 2016. Dev 9:3533–3543
- SAATY, T. L. (1980). “*The Analytic Hierarchy Process: Planning, Setting Priorities, Resource Allocation*”, New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
- SEPUD (2020). “Joinville Cidade em Dados 2020”. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/joinville-cidade-em-dados-2020/>. Acesso em: 5 abr. 2021.
- SMITH, G. (2003). “Flash Flood Potential: Determining the hydrologic response of ffmp basins to heavy rain by analyzing their physiographic characteristics”, *Colorado Basin River Forecast Center (NSW/NOAA)*, 11 p.
- STEFANO, N.M. Critérios para avaliação da gestão de periódicos científicos eletrônicos sob a ótica do capital intelectual. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.
- THI, L. D.; VAN, T. D.; VAN, H. L. (2020). “Detection of Cash-Cood potential areas using watershed characteristics: Application to Cau River watershed in Vietnam”, *Journal of Earth System Science*, v. 129 (120), 16p
- ZAHARIA, L. et al. (2017). “Mapping flood and flooding potential indices: a methodological approach to identifying areas 48 susceptible to flood and flooding risk. Case study: the Prahova catchment (Romania)”, *Front. Earth Sci.*, v. 11(2), pp. 229 – 247.
- ZENG, et al. (2016). “A Cascading Flash Flood Guidance System: Development and Application in Yunnan Province, China”, *Natural Hazards*, v. 84, pp. 2017 – 2093.