

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE POTENCIAL DE ENXURRADAS EM JOINVILLE/SC

Willian Richard De Souza Cidral¹ ; Pedro Miguel De Andrade Filho¹; July Dequêch¹; Felipe Augusto Rockembach e Silva¹; Leonardo Romero Monteiro^{1,} & Ulisses Costa de Oliveira²*

RESUMO - Enxurradas são inundações bruscas caracterizadas pelo seu alto poder destrutivo e pela elevação súbita das vazões. Devido às características destes escoamentos, a ocorrência do fenômeno é associada a aspectos hidromorfológicos do local. O Índice de Potencial de Enxurradas é utilizado para quantificar a suscetibilidade de determinada região à formação de tais escoamentos extremos por meio da combinação de parâmetros físicos que representam esses aspectos. O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e aplicação deste índice para o município de Joinville, no estado de Santa Catarina. Foram considerados quatro fatores para a sua formulação: declividade, uso do solo, pedologia e litologia. Cada um avaliado qualitativamente. Em seguida cada fator foi ponderado de acordo com a respectiva relevância por meio da Análise Hierárquica Ponderada e processados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica. O Índice de Potencial de Enxurradas resultante do modelo proposto foi avaliado com base nos registros oficiais das autoridades governamentais e sua acurácia através do método *Receiver Operating Characteristic*, apresentando aptidão adequada à identificação de áreas propensas a inundações bruscas na área estudada.

Palavras-Chave – Mapa de suscetibilidade, Inundação brusca, Flash Flood Potential Index

INTRODUÇÃO

As inundações estão entre os desastres naturais mais frequentes e perigosos que ocorrem em diversas partes do mundo (CRED, 2020). Enxurradas são um tipo particular de inundação que surge de forma repentina e que, devido à sua previsibilidade limitada, são consideradas a classe de inundação mais perigosa (BRAUD *et al.*, 2018; AHMADALIPOUR e MORADKHANI, 2019). Não há uma definição exata para este fenômeno, mas o principal parâmetro considerado para diferenciá-lo das inundações graduais é o intervalo de tempo entre o evento que o causou, geralmente chuvas intensas e concentradas, e a sua ocorrência. As enxurradas são formadas dentro de poucas horas, sendo que diversos autores adotam limites de tempo que variam de 6 a 12 horas (LLASAT *et al.*, 2016; GEORGAKAKOS, 1986; NSW/NOAA, c2021).

Devido a este aspecto súbito, a ocorrência de enxurradas pode ser relacionada a determinadas características hidromorfológicas do local. O tempo de concentração para o ponto de interesse é função da respectiva geometria e extensão da área de drenagem e, portanto, esta deve ser relativamente pequena para que ocorram inundações repentinas a partir de chuvas fortes (HARDY *et al.*, 2016; KELSCH, 2001). Outro fator relevante para a formação de enxurradas é o alto escoamento superficial, influenciado pela permeabilidade da superfície, umidade inicial do solo, densidade da cobertura vegetal, uso do solo, etc. (SCHROEDER *et al.*, 2016; JODAR-ABELLAN *et al.*, 2019). Além disso, o relevo pode contribuir para o surgimento de inundações bruscas por meio da

1) Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Rua Paulo Malschitzki, 200, Joinville/SC.

*e-mail de contato: leonardo.monteiro@udesc.br

2) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici - Bloco 713. 60455-760 - Fortaleza-CE-Brasil, Fone: +55 (85) 3366 9624, e-mail: luoliveira@msn.com

combinação entre o aumento de precipitação devido à orografia e da relação entre a velocidade do escoamento e a declividade do terreno, sendo que as regiões montanhosas são as mais propensas a este fenômeno (AMPONSAH *et al.*, 2016).

Com o objetivo de mensurar a possibilidade da ocorrência de enxurradas em determinada região, Smith (2003) elaborou uma metodologia baseada na resposta hidrológica da área de drenagem submetida a uma precipitação extrema, denominando-a de Índice de Potencial de Enxurrada (*Flash Flood Potential Index* – FFPI). Nessa abordagem, a partir da obtenção de dados matriciais com informações sobre os parâmetros morfológicos da região de interesse, atribui-se um valor de 1 a 10 para cada classe dos parâmetros relacionados à formação de enxurradas para, posteriormente, integrá-los em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os fatores considerados nesta formulação inicial foram declividade do terreno, uso do solo, densidade florestal e textura do solo. Os quais foram associados de forma ponderada, atribuindo-se maior peso à declividade. Como resultado da aplicação deste método, obtém-se uma malha representativa do potencial de enxurrada para a região estudada.

Com base na metodologia proposta por Smith (2003), foram desenvolvidas formulações alternativas para determinação do FFPI (e.g. MINEA, 2013; ZENG, *et al.*, 2016; ZAHARIA *et al.*, 2017; COSTACHE, 2019; THI *et al.*, 2020; POPA *et al.*, 2019). Nestas versões mais recentes, diversas variáveis passaram a compor o cálculo do índice, como por exemplo, elevação, grupos hidrológicos de solo, aspecto da declividade, distância dos rios, condutividade hidráulica saturada, densidade de drenagem, plano de curvatura, litologia, taxas de precipitações históricas, índice de convergência entre outros. Além da expansão do conjunto de parâmetros considerados, a atribuição de pesos para as variáveis passou a ser realizada de forma mais elaborada. Smith (2003) propôs que a ponderação interfatorial deveria ser feita com base na série histórica de enxurradas para a área de interesse. No entanto, como o registro destes eventos é escasso, análises multicritério foram estruturadas para mensurar a relevância de cada parâmetro e a interação entre eles na ocorrência de inundações súbitas, nas quais o processo hierárquico analítico (*Analytic Hierarchy Process* – AHP) (SAATY, 1980), desponta como uma ferramenta eficiente (ZENG *et al.*, 2016; ZAHARIA *et al.*, 2017; THI *et al.*, 2020). Perante o exposto, o presente trabalho tem como objetivo determinar um FFPI para o município de Joinville em Santa Catarina, que entre os municípios setorializados do Estado com potencial de ocorrência de processos geológicos capazes de gerar perdas de vidas e de bens materiais, é o que possui maior número de pessoas vivendo em áreas de risco (CPRM, 2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e conjunto de dados

Segundo o caderno intitulado Joinville Cidade em Dados 2020 (SEPUD, 2020), Joinville é a maior cidade de Santa Catarina, sendo o município polo da microrregião nordeste do estado, com uma área urbana e rural de 1.124,10 km². A área rural é distribuída entre Terras Altas e Terras Baixas (UBERTI, 2011), em função do notável gradiente de altitudes entre a Serra Dona Francisca/Campos de Altitude e as Planície Quaternárias. A população estimada pelo IBGE, para 2020, era de 597.658 habitantes, resultando numa em uma demográfica de 457,58 habitantes/km².

Segundo Uberti (2011), sob o ponto de vista geomorfológico, o município de Joinville insere-se no cenário morfológico do Planalto de São Bento do Sul, cujo conteúdo principal é o embasamento cristalino da Serra do Mar, e cenário Litorâneo, representado pelas sedimentações recentes do período quaternário. Fundamentalmente cria-se uma divisão, onde é possível associar-se o material de origem com as altitudes e declividades. Desse modo, têm-se Terras Baixas com domínio de planícies costeiras, acompanhadas do embasamento cristalino (normalmente em maior declividade), e Terras Altas, preenchidas exclusivamente com o embasamento cristalino, correspondendo ao Complexo Granulítico de Santa Catarina. De acordo com SEPUD (2020), na região de transição entre o Planalto Ocidental e as Planícies Costeiras, encontram-se as escarpas da serra, com vertentes inclinadas (mais

de 50°) e vales profundos e encaixados. Na parte leste do município ocorre uma região de planícies, resultado de processos sedimentares aluviais nas partes mais interioranas e marinhas na linha da costa, onde são gerados os manguezais. Justamente nesta unidade se desenvolve a ocupação humana (área agricultável e urbana), com altitude que varia de 0 a 20 metros. Inseridos na região da planície existem morros isolados, constituídos de formas de relevo arredondados, conhecidas como “mar de morros”, sendo o Morro da Boa Vista o mais alto da área urbana, com 220 metros. A morfologia de Joinville favorece a ocorrência de eventos de enxurradas, onde o relevo é formado por serras e planaltos com escarpas declivosas chegando às planícies flúvio-marinhas (CPRM, 2018).

A vegetação do município de Joinville, pertence ao bioma Mata Atlântica (UBERTI, 2011). Os ecossistemas apresentam uma forte característica tropical, destacando-se com mais de 60% de cobertura, a Floresta Ombrófila Densa com cerca de 680 km² e seus ecossistemas associados, destacando-se os manguezais, com 36 km² (SEPUD, 2020).

Na cobertura geológica, no fragmento de território Terras Altas, há domínio absoluto de solos de origem autóctone, desenvolvidos a partir de rochas cristalinas (UBERTI, 2011). Ainda, segundo Uberti (2011), na região correspondente às Terras Baixas, a geologia mostra domínio quase que absoluto de materiais de origem sedimentar recente que remetem ao Período Quaternário, sendo depósitos aluvionares expondo areias finas e grossas, cascalho, silte e argila, além de material de origem orgânica. Os solos do município são de matriz silto-argilosa, bastante instáveis e sujeitos à erosão (SEPUD, 2020).

De acordo com SEPUD (2020), o município de Joinville localiza-se na Vertente Atlântica da Serra do Mar, que é formada por um conjunto de bacias isoladas (Figura 3), compreendendo 37% da área total do Estado. Os rios desta vertente apresentam um perfil longitudinal bastante acidentado no curso superior. No curso inferior aparecem as planícies aluviais gerando meandros. Segundo Uberti (2011), em função, principalmente, do relevo dissecado, os rios se caracterizam pela pequena extensão e grande vazão. A geomorfologia da região, associada às condições climáticas e à cobertura vegetal, influenciam positivamente o regime hídrico das bacias hidrográficas do município (SEPUD, 2020).

Figura 1 – Bacias hidrográficas do município de Joinville



O clima da região é do tipo úmido e superúmido, mesotérmico e com curtos períodos de estiagem. No ano de 2019, a temperatura máxima foi de 35 °C, no mês de fevereiro, e mínima de 6 °C, no mês de julho. A velocidade média dos ventos é de 10 km/h (SEPUD, 2020). De acordo com Mello e Oliveira (2016), o município de Joinville possui uma média anual de precipitação de 2.200 mm. A distribuição pluviométrica regional é influenciada pela presença marcante da serra, com altitudes superiores a mil metros, em conjunto com a proximidade do Oceano Atlântico e aos sistemas atmosféricos atuantes, com destaque para os sistemas frontais durante todo o ano. Devido aos altos índices pluviométricos, o município é atingido por desastres naturais como inundações e movimentos de massa. A alta pluviosidade aliada à influência da maré provoca alagamentos comumente a região central da cidade, às margens dos rios da bacia hidrográfica do rio Cachoeira. Segundo Mello *et al.*, (2013), isto ocorre principalmente nos meses de verão, época mais chuvosa, apresentando uma média de 240,9 mm de chuva, podendo atingir mais de 600 mm no mês de janeiro.

Segundo o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), entre os anos de 1970 e 2016, o município de Joinville registrou dezoito ocorrências de enxurradas, sendo que oito dessas ocorrências aconteceram a partir do ano 2000. De acordo com o Relatório “Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações”, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, as áreas de riscos geológicos de maior extensão no município de Joinville são as que apresentam histórico de eventos de inundações e/ou enxurradas, onde foram verificados e descritos seis setores que possuem potencial de ocorrência ou ocorrência efetiva de tais eventos. Em suma, as áreas reconhecidas como de risco a enxurradas são aquelas que foram urbanizadas nas zonas de transição de planície para serras e planaltos, tendo sua ocupação sem qualquer controle adjacente a drenagens encaixadas e rios de alta vazão (CPRM, 2018). Os seis setores identificados estão localizados no bairro Bom Retiro (Rua Itajubá), bairro Iririú (Rua Xaxim), bairro Boa Vista (Rua Arno Schwartz), distrito Quiriri (Estrada do Quiriri do alto), bairro Boehmerwald (Rio Itaum) e bairro Petrópolis (Rios Itaum, Paulo Bohn e Célio Gomes).

Metodologia

Os dados que consistem os fatores/critérios para este tipo de análise podem ser matriciais (quantitativos) que serão reagrupados em classes em função do valor do pixel e/ou vetoriais (qualitativos) que serão divididos em subcritérios. Em ambiente GIS, classes e subcritérios receberão pesos de 0 a 1, que se referem à importância que tal elemento tem como condicionante do fenômeno. Essa fase do processo pode ser chamada de análise intrafatorial.

A julgar pelas características geográficas e hidrológicas da área de estudo, o índice baseou-se fundamentalmente em 4 fatores, que foram selecionados como principais contribuintes: uso do solo (figura 2a), declividade (figura 2b), pedologia (figura 2c) e litologia (figura 2d).

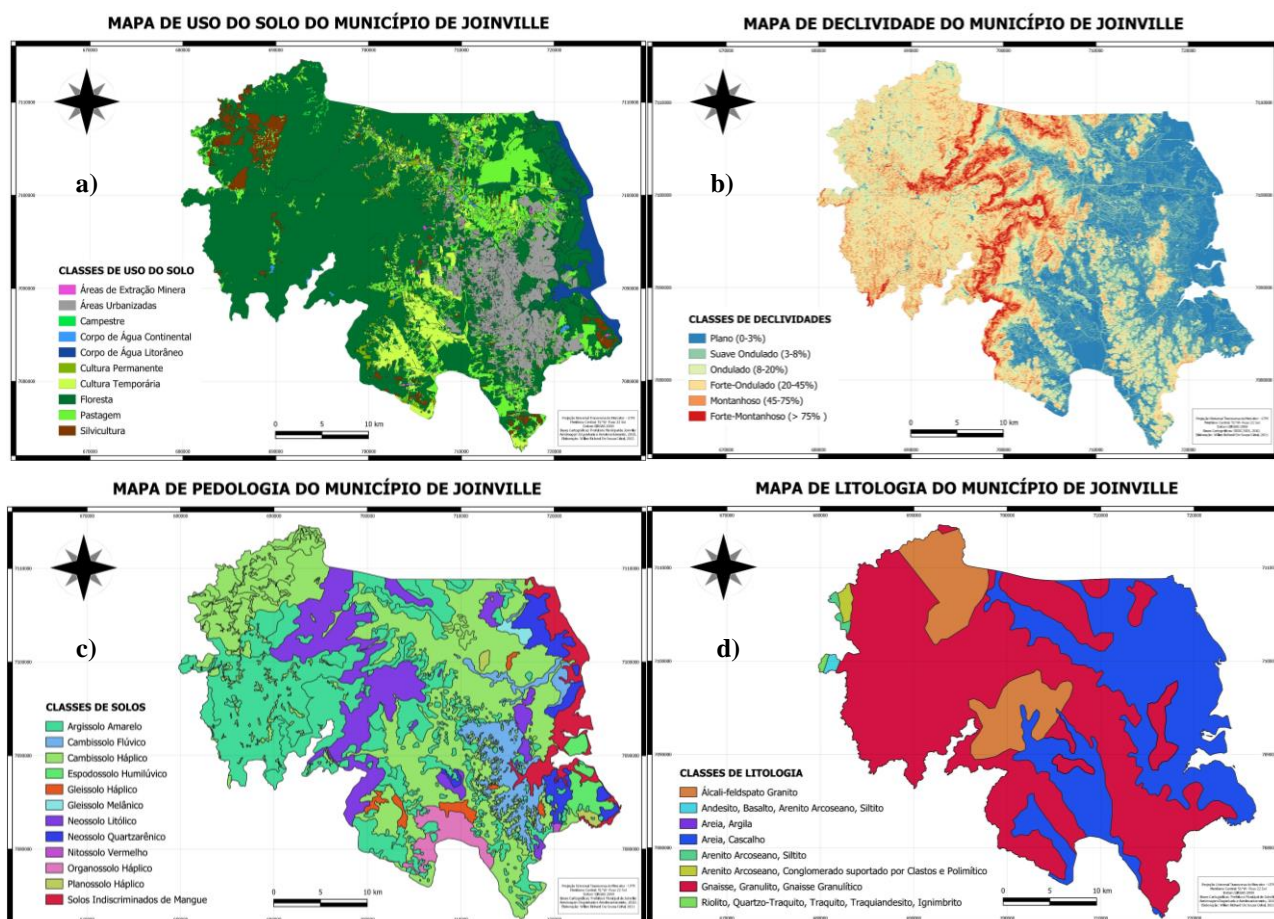
- Uso do solo: segundo Salomão (2012) a cobertura vegetal atenua a energia do escoamento superficial, diminuindo a velocidade do gotejamento da chuva e por ação das raízes eleva a porosidade do solo aumentando a sua infiltração. Áreas de densa cobertura vegetal evitam o *runoff* acelerado e intenso. Sendo assim, foram definidas classes temáticas em função da permeabilidade e cobertura vegetal como proposto por Tucci (1993), onde corpos de água e áreas antrópicas impermeabilizadas receberam valor máximo nos pesos e áreas de mata densa valor mínimo.

- Declividade: para Lepsch (2002) a declividade do terreno influencia no acúmulo, na dispersão e na velocidade da enxurrada. Crepani *et al.* (2001) também faz menção à energia cinética de grandes proporções do escoamento superficial (*runoff*) em terrenos de grandes amplitudes de altitude e declividade. Sendo assim classes de declividades, segundo EMBRAPA (2006), maiores receberam maior peso.

- **Pedologia:** para a classificação em função do escoamento superficial foram adotados os Grupos Hidrológicos de Solos adaptados para solos brasileiros segundo Sartori *et al.* (2005). Dividindo-os em quatro grupos: A (baixo potencial de escoamento); B (moderado potencial de escoamento); C (alto potencial de escoamento); D (muito alto potencial de escoamento), que os agrupa em função de suas propriedades físicas e mineralógicas. Salomão (2012) ressalta a importância das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas, na erosão por escoamento superficial. O autor também ressalta que solos rasos possuem rápida saturação dos horizontes superiores, favorecendo o desenvolvimento de enxurradas. Os solos da região foram agrupados nos grupos B, C e D.

- **Litologia:** as formações geológicas da região mapeadas por Silva e Bortoluzzi (1987) foram classificadas em maior ou menor permeabilidade em função da sua respectiva gênese. Reis *et al.* (2012) classificam o aumento da permeabilidade diretamente ligado a processos metamórficos e sedimentares. Seu valor cresce conforme o grau de alteração e fissuração da unidade geológica. Nesse sentido, rochas cristalinas plutônicas receberam maior peso, haja vista a maior impermeabilidade por serem mais íntegras. Por serem mais permeáveis, sedimentos quaternários arenosos receberam pesos menores.

Figura 2 – Mapas dos fatores causadores de enxurradas: a) Uso do Solo; b) Declividade; c) Pedologia; d) Litologia.



Estes fatores foram representados por mapas de critérios independentes entre si pelo programa QGIS (QGIS Development Team, 2020), *software* de sistema de informação geográfica. Os dados vetoriais de **Uso do Solo**, **Pedologia** e **Litologia** foram obtidos pelo Sistema de Informações

Municipais Georreferenciadas (SIMGEO, 2010). Após atribuídos os devidos pesos manualmente nas respectivas tabelas de atributos, os mapas foram *rasterizados* com uma resolução de 5 metros.

O mapa de **Declividades** foi feito a partir de dados matriciais, em formato *raster*, extraídos da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável SDS-SC (2012) em resolução de 1 metro. Para que o mesmo também obtivesse a resolução 5 metros, foi realizado um processo de reamostragem de pixels, no *software* QGIS. Com os valores dos pixels, foi realizado um processo de reclassificação, de acordo com EMBRAPA (2006), para o intervalo de 1 a 6 representando, respectivamente, o relevo Plano a Forte-Montanhoso. Finalmente, foi efetuado o processo de normalização dos dados através de uma função *fuzzy* linear e crescente, admitindo como valores mínimos e máximos de suas camadas, 0 e 1, estando assim coerentes com os outros 3 mapas produzidos.

Em fase de ponderação, o método utilizado para determinar a importância de cada um dos quatro fatores foi o AHP, Saaty (1980), que auxilia na tomada de decisões em função dos critérios em face de várias alternativas. Entretanto, para a aplicação voltada ao FFPI, deve-se adaptar o método de forma que seu emprego se limite à análise interfatorial. A qual se fez por meio da construção de matrizes de comparação pareada, elencando a cada dupla de fatores qual seria, em igual situação, o mais relevante à suscetibilidade de enxurradas, dentro uma escala de 1 (extremamente menos relevante) a 9 (extremamente mais relevante). Estes pesos finais, que representam a importância global de cada fator, foram obtidos a partir da média de pesos dos julgamentos de 5 autores, com respostas imparciais e não condicionadas entre si e, a partir disto, diretamente no *software* QGIS, foi usada a ferramenta calculadora raster, em que os pesos são multiplicados por cada mapa *rasterizado*, conforme Equação 1, os quais refletem a formulação linear do FFPI do município de Joinville.

Com o objetivo de avaliar a qualidade dessa análise interfatorial foi aplicado o Índice de Consistência (IC) que, resumidamente falando, mede o quanto de inconsistência há nos julgamentos adotados por cada membro. Devendo assim, todos estarem abaixo do valor máximo estipulado por Saaty (1980) de 0,1. Os valores calculados de IC foram: 0,047, 0,075, 0,058, 0,031 e 0,026. Mostrando-se dentro do padrão aceitável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

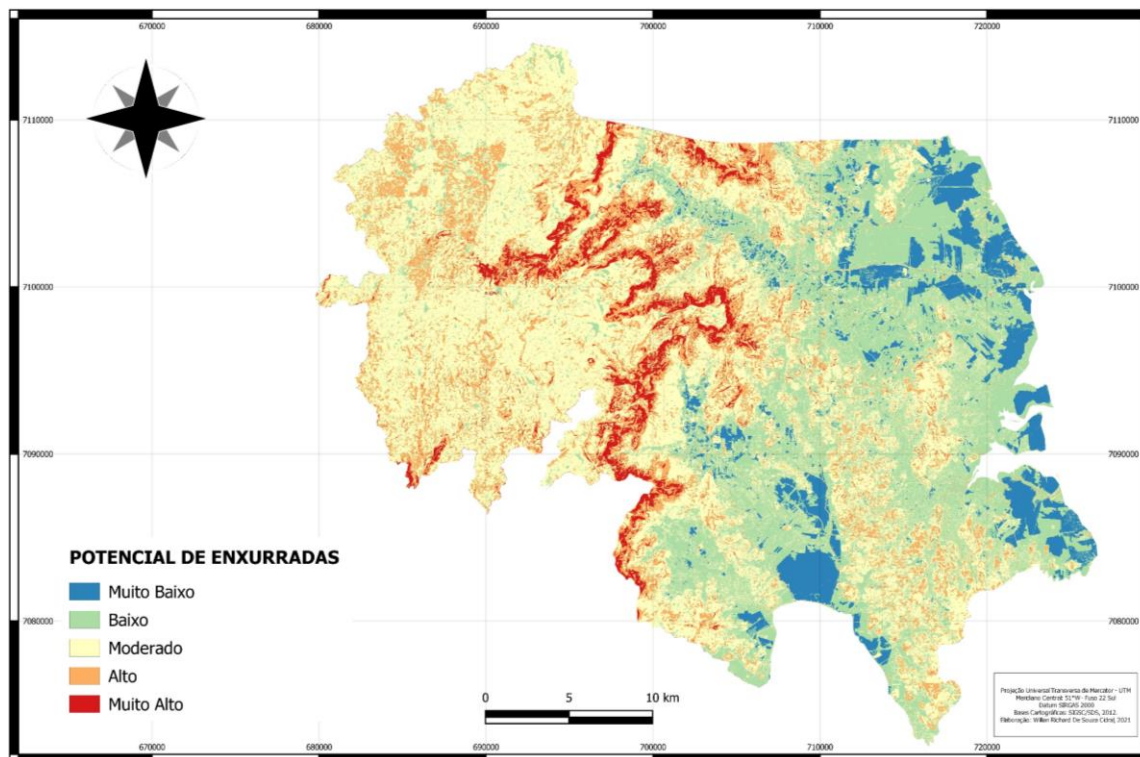
Realizada a aplicação do método AHP, obtém-se os pesos finais dos fatores, o que representa o quanto cada um tem de importância para a formação enxurradas. Os resultados mostram a crucialidade do fator declividade (*Dc*), o qual obteve peso de **0,5632**, refletindo seu caráter dominante; em segundo lugar com peso **0,2334** o uso do solo (*Us*), fator que também é muito diversificado devido aos numerosos âmbitos de aplicação na cidade; pedologia (*Pd*), em terceiro lugar com peso **0,1438**, indica o quão sensível as diversas áreas da cidade são ao risco e por último, litologia (*Lt*) com peso **0,0598**, muito provavelmente devido ao grande destaque que as classes de Gnaisse, Granulito, Areia e Cascalho possuem, gerando a equação:

$$FFPI = 0,5632Dc + 0,2334Us + 0,1438Pd + 0,0598Lt. \quad (1)$$

A equação acima teve como resultado o **Índice de Potencial de Enxurradas do Município de Joinville** (Figura 3) subdividido em 5 categorias de potencial principais: Muito Baixo, Baixo, Moderado, Alto e Muito Alto. A validação do modelo foi feita a partir dos dados sobre áreas de ocorrência de enxurradas fornecidos pela CPRM, onde estes foram comparados às do mapa construído, utilizando-se do método *Receiver Operating Characteristic* (ROC), e assim avaliando sua acurácia na predição dos acontecimentos. As curvas (ROC) e a área sob as curvas (AUC) são geralmente usadas para avaliar modelos de resposta binária (CHUNG e FABRRI, 2003; PIMIENTO,

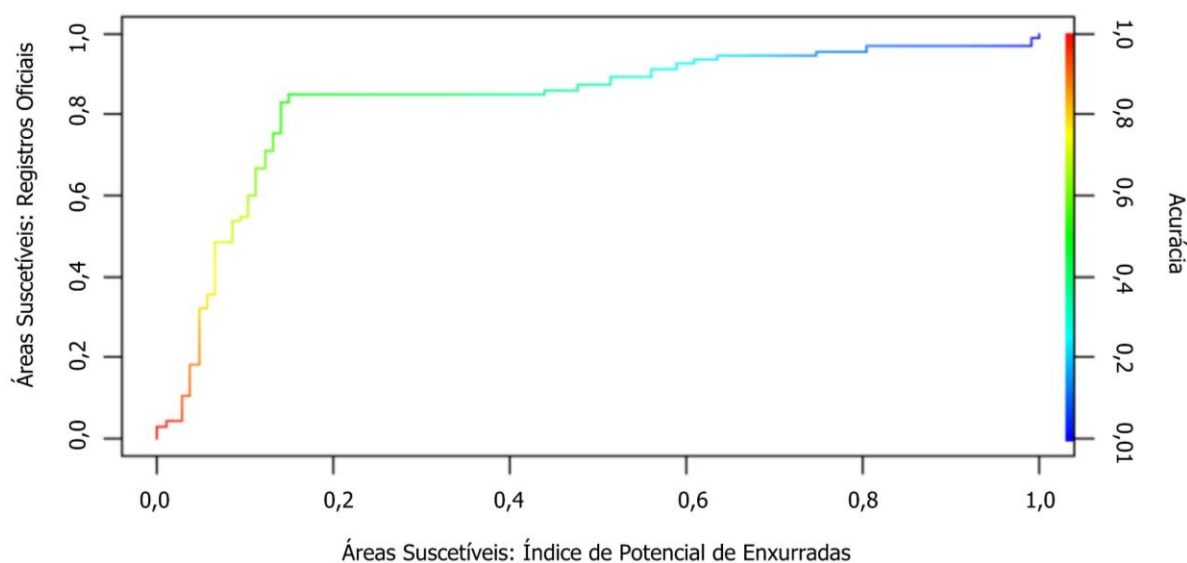
2010; ROSSI e REICHENBACH, 2016), visto que para o modelo atribuiu-se as classes de risco alta e muito alta com valor 1 e as demais com valor 0 e os resultados calculados foram apresentados em porcentagem da área de estudo classificada como suscetível (eixo x) *versus* a porcentagem cumulativa de ocorrência de enxurradas (eixo y).

Figura 3 - Índice FFPI em Joinville.
ÍNDICE DE POTENCIAL DE ENXURRADAS DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE



Sendo a curva um gráfico de valores de índice variáveis, dentre 1 a 0,5 (excelente a insignificante, segundo Pimiento (2010)), o resultado mostrado na figura 4 evidenciam que o modelo se classifica como muito bom, apresentando um valor de AUC de 0,81, destacando alta exatidão no evento modelado para a ocorrência de enxurrada. Para estimar as referidas métricas de acurácia foi utilizado o pacote “PRROC” no *software RStudio*, versão 1.4.1106.

Figura 4 – Curva ROC/AUC para validação do modelo de estimativa de áreas susceptíveis à ocorrência de enxurradas.



CONCLUSÃO

O presente trabalho utilizou a metodologia FFPI para criar um mapa de suscetibilidade de enxurradas para o município de Joinville em Santa Catarina. A ferramenta AHP foi aplicada considerando os parâmetros declividade, pedologia, uso do solo e litologia. Uma boa representatividade dos resultados com dados observados foi encontrada através da Curva ROC que forneceu um AUC de 0,81.

De uma forma geral, o maior potencial de enxurradas encontrasse na região rural de Joinville. Entretanto, nas regiões próximas de morros, mesmo na área urbana, existem potenciais à enxurradas de moderado a muito alto que devem ser estudados com mais profundidade, pois são regiões habitadas. Deve-se tomar cuidado especial com relação as rodovias que fazem a ligação das terras com baixa e alta elevação, por sua alta declividade.

O mapa de suscetibilidade criado pode ser aperfeiçoado ao se considerar mais parâmetros na combinação do AHP, ou, ainda, criando-se equações distintas para cada bacia-hidrográfica do Município, pois estas podem possuir um comportamento hidrológico distinto uma da outra. Sobremaneira, o atual mapa fornece um norte para a identificação de enxurradas no município e pode servir como uma ferramenta prévia para o gerenciamento deste fenômeno natural, reduzindo o risco do desastre de enxurrada.

REFERÊNCIAS

- AHMADALIPOUR, A.; MORADKHANI, H. (2019). “*A data-driven analysis of flash flood hazard, fatalities, and damages over the CONUS during 1996 – 2017*”, *Journal of Hydrology*, v. 578, 13 p.
- AMPONSAH, W. *et al.* (2016). “*Hydrometeorological characterization of a flash flood associated with major geomorphic effects: Assessment of peak discharge uncertainties and analysis of the runoff response*”, *Journal of Hydrometeorology*, v. 17(12), 41 p.
- 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.
- CHUNG CF, FABBRI A (2003) *Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping*. 2003. *Nat Hazard* 30:451–472.
- 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.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. “*Raio X das áreas de risco geológico mapeadas pela CPRM*”. 16 ago. 2019. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Raio-X-das-areas-de-risco-geologico-mapeadas-pela-CPRM-5525.html>. Acesso em: 5 abr. 2021.
- CRED (2020). *The Human Cost of Disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019)*. UN Office for Disaster Risk Reduction, 28 p.

- CREPANI, E. *et al.* (2001). “*Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*”. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 124 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006). *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- GEORGAKAKOS, K. P. (1986). “*On the Design of National, Real-Time Warning Systems with Capability for Site-Specific, Flash-Flood Forecasts*”, Bulletin American Meteorological Society, v. 67(10), pp. 1233 – 1239.
- HARDY, J. *et al.* (2016). “*A method for probabilistic flash flood forecasting*”, Journal of Hydrology, v. 541, pp. 480 – 494.
- JODAR-ABELLAN, A. *et al.* (2019). “*Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watersheds (SE Spain)*”, Science of the Total Environment, v. 657, pp. 1578 – 1591.
- KELSCH, M. (2001). “*Hydrometeorological Characteristics of Flash Floods*”, in *Coping With Flash Floods*. Org. por Grunfest, E. e Handmer, J., ed. Kluwer Academic Publishers, pp. 181 –194.
- LEPSCH, I. F. (2002). *Formação e conservação de solos*. Oficina de Textos, São Paulo, 178 p.
- LLASAT, M. C. *et al.* (2016). “*Trends in flash flood events versus convective precipitation in the Mediterranean region: The case of Catalonia*”, Journal of Hydrology, v. 541, pp. 24 – 37.
- MELLO, Y. R. *et al.* (2013). “*Distribuição de precipitação pluviométrica na região de Joinville*”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia. Universidade da Região de Joinville – Univille. Joinville.
- MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. (2016). “*Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC)*”. Revista Brasileira de Meteorologia. 31 (2). 22 Apr-Jun 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778631220150040>.
- 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.
- NSW/NOAA (2021c). “*Flash Flood*”, Glossary. Disponível em: <https://w1.weather.gov/glossary/index.php?letter=f>. Acesso em: 16 de março de 2021.
- PIMIENTO, E. (2010). “*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.
- REIS, P. E. *et al.* (2012). “*O Escoamento Superficial Como Condicionante De Inundações Em Belo Horizonte MG: Estudo De Caso Da Sub-bacia Córrego Do Leitão, Bacia Do Ribeirão Arrudas*”. Revista Geociências, Rio Claro, v. 31, n. 1, pp. 31-46.
- 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.
- SALOMÃO, F. X. T. (2012). “*Controle e Prevenção dos Processos Erosivos*”. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e Conservação de Solos – Conceitos, Temas e Aplicações*. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2012. pp. 229-267.

- SARTORI, A. *et al.* (2005). “*Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 5-18, dez. 2005.
- SCHROEDER, A. J. *et al.* (2016). “*The development of a flash flood severity index*”, Journal of Hydrology, v. 541, pp. 523 – 532.
- SDS-SC. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. (2012). Relatório de produção final - Engemap. Florianópolis/SC. 218 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.
- SILVA, L.C.; BORTOLUZZI, C. A. (1987). *Mapa geológico do Estado de Santa Catarina* escala 1:500.000: texto explicativo e mapa. Florianópolis: 11. DNPM, 1987. 215p. (Serie Textos básicos de Geologia e Rec. minerais de Santa Catarina, 1).
- SIMGEO - Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas. (2010). *Ortofotos do voo fotogramétrico*. Prefeitura Municipal de Joinville. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/downloads-sistema-de-informacoes-municipais-georreferenciadas-simgeo/>. Acesso em: 14 maio 2021.
- Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão/Prefeitura Municipal de Joinville. (2010). *Ortofotos do Município de Joinville*. Escala de Voo 1:10.000 / 1:5.000. Executado por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, ano de 2010
- 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.
- SUTTON, T. *et al.* QGIS with GRASS: A Coruña. LTR 3.10.4. [S. l.], 19 abr. 2020. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/index.html. Acesso em: 14 de maio de 2021.
- 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), 16 p.
- TUCCI, C. E. M. (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. UFRGS, Porto Alegre-RS, 943p.
- UBERTI, A. A. A. (2011). “*Boletim Técnico do Levantamento da Cobertura Pedológica do Município de Joinville*”. Disponível em: http://sistemaspmj.joinville.sc.gov.br/documentos_vivacidade/Mapa%20de%20Fragilidade%20Ambiental%20de%20Joinville/Boletins/Boletim%20T%C3%A9cnico%20do%20Munic%C3%ADpio%20de%20JOINVILLE%20-%20RF.pdf. Acesso em: 5 abr. 2021.
- 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.