

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### INTEGRAÇÃO DE AHP E SIG NA AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE A DESASTRES HIDROLÓGICOS EM MICROBACIAS URBANAS

*Rafael Brandão Ferreira de Moraes<sup>1</sup> & Fábio Veríssimo Gonçalves<sup>2</sup>*

**Abstract:** This study aims to develop, apply, and validate the Urban Flood Susceptibility Index (UFSI) by integrating the Analytic Hierarchy Process (AHP) method with geographic information system (GIS). The index is composed of indicators representing multiple dimensions — environmental, morphometric, land use and land cover, and urban infrastructure — applied to urban hydrological micro-basins (UHMs) in a municipality located in the Central-West region of Brazil. The methodology considers both rainfall surface runoff and infiltration processes, enabling a comprehensive assessment of flood susceptibility in the UHMs. In this study, the term “urban floods” is used broadly to encompass both inundations caused by the overflow of water bodies and pluvial flooding due to overload or failure of urban drainage systems. For index validation, historical records of flood events reported by local media between 2018 and 2022 were used. The strong correlation observed ( $r > 0.80$ ) between UFSI values and historical flood occurrences confirms the robustness and practical applicability of the proposed index. Results revealed that the most susceptible UHMs exhibit high levels of impervious surfaces, high population density, and deficiencies in urban drainage infrastructure, particularly the absence or inefficiency of retention and runoff systems. The proposed approach proved to be replicable in other urban regions, provided that indicator weights are locally adjusted and a consistency ratio ( $CR < 0.10$ ) is ensured. Thus, the UFSI stands out as a strategic tool for urban planning and territorial management, supporting public policies aimed at risk mitigation and promoting safer, more resilient, and sustainable cities.

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo desenvolver, aplicar e validar o Índice de Susceptibilidade a Inundações Urbanas (UFSI), por meio da integração do método de Análise Hierárquica de Processos (AHP) com Sistema de Informação Geográfica (SIG). O índice é composto por indicadores representativos de diferentes dimensões — ambiental, morfométrica, uso e ocupação do solo e infraestrutura urbana — aplicados a microbacias hidrográficas urbanas (MHUs) de um município localizado na região Centro-Oeste do Brasil. A metodologia considera os processos de escoamento superficial e de infiltração das águas pluviais, possibilitando uma avaliação abrangente da susceptibilidade das microbacias a inundações urbanas — termo utilizado neste estudo de forma abrangente, englobando tanto alagamentos quanto inundações. Para validação do índice, foram utilizados registros históricos de eventos noticiados na mídia local entre 2018 e 2022. A forte correlação observada ( $r > 0,80$ ) entre os valores do UFSI e as ocorrências históricas valida a robustez e a aplicabilidade prática do índice. Os resultados revelaram que as MHUs mais suscetíveis apresentam elevados níveis de impermeabilização, alta densidade populacional e deficiências na

1) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS): Cidade Universitária, Av. Costa e Silva – Pioneiros, Campo Grande/MS. Fone: (67) 3345-7000 e e-mail: rafael.moraes@ufms.br

2) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS): Cidade Universitária, Av. Costa e Silva – Pioneiros, Campo Grande/MS. Fone: (67) 3345-7000 e e-mail: fabio.goncalves@ufms.br

infraestrutura de drenagem urbana, como ausência ou ineficiência de dispositivos de retenção e escoamento. A abordagem demonstrou ser replicável em outras áreas urbanas, desde que adaptada às particularidades locais e respeitada a razão de consistência ( $CR < 0,10$ ). O UFSI configura-se, assim, como uma ferramenta estratégica para o planejamento urbano e a gestão do território, subsidiando políticas públicas voltadas à mitigação de riscos e à promoção de cidades mais seguras, resilientes e sustentáveis.

**Palavras-Chave** – Índice de susceptibilidade. Inundações urbanas. AHP.

## INTRODUÇÃO

A crescente urbanização tem provocado alterações significativas nos processos de infiltração e escoamento superficial da água da chuva em microbacias hidrográficas urbanas (MHUs). Modificações no uso e ocupação do solo associadas a um planejamento urbano inadequado elevam significativamente a suscetibilidade das áreas urbanas a desastres hidrológicos (Moraes e Gonçalves, 2024). Esses efeitos são especialmente sentidos em países em desenvolvimento, como Brasil (Melo et al., 2023; Santos et al., 2023), China (Li et al., 2023) e Egito (Abdrabo et al., 2023), resultando em perdas econômicas significativas e ameaças diretas à vida humana (Li et al., 2023; Youssef et al., 2023). Este cenário ressalta a necessidade urgente de incorporar estratégias baseadas em estudos de susceptibilidade a desastres naturais às políticas públicas urbanas, de forma a promover soluções integradas, adaptativas e equitativas diante das mudanças climáticas e das desigualdades socioespaciais.

Nos últimos anos, é notável o aumento do número de estudos relacionados a desastres hidrológicos, principalmente a partir de indicadores e índices (Dash e Sar, 2020; Ikirri et al., 2022; Quesada-Ronan, 2022; Moraes e Gonçalves, 2024; Wang et al., 2024). No entanto, Araújo e Dias (2021) apontam que ainda há necessidade de pesquisas ambientais que levem em consideração aspectos qualitativos e quantitativos no Brasil, a fim de direcionar ações preventivas e mitigadoras de desastres naturais. Nesse contexto, análises multicritérios são amplamente utilizadas com geotecnologias para aprimorar processos de tomada de decisão e formulação de índices de susceptibilidade a partir de diversos indicadores. Inúmeros trabalhos foram realizados utilizando a combinação de Análise Hierárquica de Processos (AHP) e Sistema de Informação Geográfica (SIG) para estudos de desastres hidrológicos em países europeus e asiáticos (Ramkar e Yadav, 2021; Ikirri et al., 2022; Mudashiru et al., 2022; Zhran et al., 2024), sendo considerado uma agregação eficaz por Dash e Sar (2020), Ramkar e Yadav (2021) e Moraes e Gonçalves (2024). A AHP foi proposta por Saaty (1977) e tem ganhado destaque em estudos ambientais complexos, por sua capacidade de identificar inconsistências lógicas, reduzir erros e apoiar decisões mais fundamentadas (Swain et al., 2020).

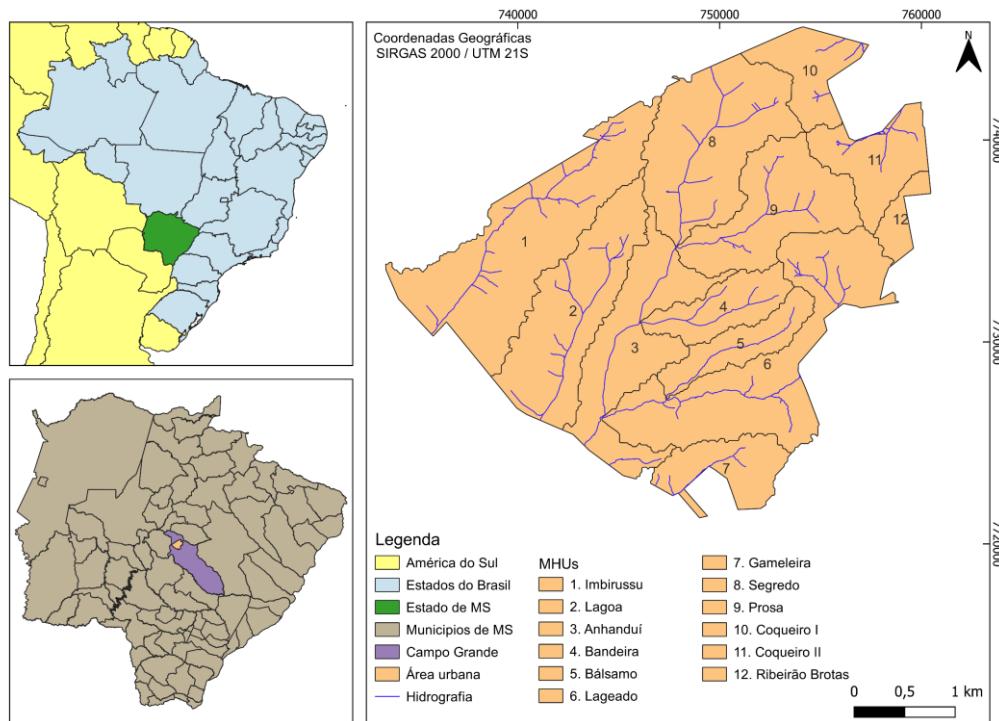
Este trabalho tem como objetivo desenvolver, aplicar e validar o Índice de Susceptibilidade a Inundações Urbanas (UFSI), com base na combinação de indicadores representativos de múltiplas dimensões — ambiental, morfométrica, uso e ocupação do solo e infraestrutura urbana —, considerando os processos de infiltração e escoamento superficial das águas pluviais, por meio da integração dos métodos AHP e SIG. O índice é aplicado em MHUs de um município da região Centro-Oeste do Brasil e validado a partir de registros históricos de inundações urbanas veiculados em meio de comunicação local. Neste estudo, o termo “inundações urbanas” é utilizado de forma abrangente, englobando tanto as inundações associadas ao transbordamento de corpos hídricos quanto os alagamentos provocados pela sobrecarga ou falha dos sistemas de drenagem urbana. Essa definição

operacional visa consolidar diferentes tipos de desastres hidrológicos urbanos em uma métrica única de análise de susceptibilidade.

## METODOLOGIA

A área de estudo deste trabalho corresponde ao município de Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul, localizado na Região Centro-Oeste do Brasil. O município possui uma extensão territorial de 8.082,97 km<sup>2</sup>, dos quais aproximadamente 360 km<sup>2</sup> correspondem à zona urbana. Segundo dados do PLANURB (2020), a cidade apresenta uma população estimada de 916.001 habitantes, densidade demográfica de 113 habitantes por km<sup>2</sup> e uma taxa de urbanização de 98,66%. A Figura 1 apresenta a localização geográfica do município, sua rede hidrográfica e as MHUs utilizadas neste trabalho.

Figura 1 - Localização, hidrografia e MHUs de Campo Grande – MS. Fonte: Moraes e Gonçalves, 2024



A construção do UFSI seguiu sete etapas metodológicas: 1. seleção dos indicadores, 2. padronização dos indicadores, 3. atribuição de pesos aos indicadores, 4. verificação de consistência, 5. cálculo do índice, 6. aplicação do índice nas MHUs de Campo Grande e 7. validação do índice. Esse procedimento foi inspirado em abordagens semelhantes adotadas por Swain et al. (2020), Singh e Bhakar (2021), Mudashiru et al. (2022) e Ikirri et al. (2022), sendo os detalhes descritos com maior profundidade por Moraes e Gonçalves (2024).

Para a composição do UFSI, foram selecionados os seguintes indicadores: declividade média (Sa), coeficiente de compacidade (Kc), densidade de drenagem (Dd), densidade demográfica (Ddem), grau de permeabilidade superficial (GSP), susceptibilidade à produção de sedimentos (SPS), precipitação diária (Pd), grau de canalização dos cursos d'água (DCW), condição das bocas de lobo (CSD) e dispositivos de retenção de águas pluviais (RRD). Como esses indicadores apresentam

diferentes unidades e escalas, foi necessário padronizar os valores obtidos. Para isso, os resultados foram classificados em cinco categorias ordenadas: 1, 2, 3, 4 e 5 — onde 1 indica menor susceptibilidade e 5 maior susceptibilidade à ocorrência de inundações urbanas. Essa classificação foi feita considerando os efeitos dos processos de infiltração e escoamento superficial das águas pluviais sobre as MHUs.

Reconhecendo que cada indicador possui um grau de relevância distinto na determinação da susceptibilidade a desastres hidrológicos urbanos (Malczewski, 2006), foi utilizada a metodologia AHP para atribuição de pesos aos indicadores para composição do UFSI. Para validar o referido índice foi realizada uma pesquisa no principal meio digital de informação do município de Campo Grande – MS. O objetivo foi identificar os bairros, ruas e cruzamentos mais frequentemente atingidos por inundações urbanas no período de 2018 a 2022, o que permitiu determinar as MHUs mais impactadas por esses eventos hidrológicos.

Em seguida, com o uso do *software* QGIS, foi elaborado um mapa representando a taxa de registros históricos de inundações urbanas em cada microbacia. Esse mapa foi comparado ao mapa de susceptibilidade gerado a partir do UFSI, com o intuito de verificar se as áreas apontadas como mais suscetíveis pelo índice coincidem com aquelas que efetivamente apresentaram maior frequência de inundações urbanas nos registros históricos (Moraes e Gonçalves, 2024). Por fim, foi calculado o Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ) entre os valores do UFSI e a taxa de registros históricos de inundações urbanas em cada microbacia. Ressalta-se que, neste estudo, a taxa de registro histórico foi definida como o número de ocorrências de inundações urbanas dentro da MHU dividido pela sua respectiva área, permitindo assim uma comparação proporcional entre microbacias de diferentes tamanhos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Equação 1 expressa a fórmula do UFSI, construída a partir dos pesos atribuídos aos indicadores por especialistas utilizando o método AHP. De forma geral, os indicadores de  $Pd$  e  $DSP$  foram os que mais influenciaram a susceptibilidade das MHUs a inundações urbanas, tanto na perspectiva da infiltração quanto do escoamento superficial. Também se destacaram os indicadores de  $Sa$  e  $DCW$  na dimensão de escoamento superficial, assim como  $RRD$  e  $SPS$  no que diz respeito à infiltração. Esses indicadores receberam os maiores pesos na composição do índice. Em contrapartida, os indicadores  $Dd$  e  $Kc$  apresentaram pesos mais baixos, possivelmente por refletirem características estáveis ao longo do tempo, cuja alteração demanda longos períodos ou mudanças específicas e pontuais, como sugerido por Albulescu et al. (2022).

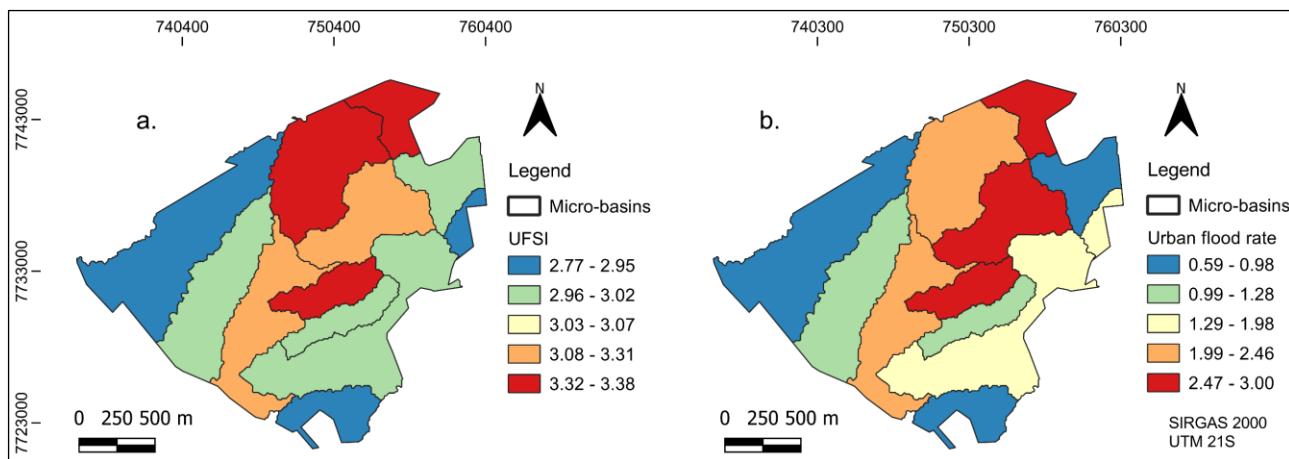
$$UFSI = 0,50.(0,08.VSa + 0,06.VKc + 0,07.VDd + 0,26.VDSP + 0,04.VDdem + 0,09.VSPS + 0,16.VPd + 0,05.VDCW + 0,06.VCSD + 0,13.VRRD)_{infiltration} + 0,50.(0,15.VSa + 0,06.VKc + 0,07.VDd + 0,15.VDSP + 0,03.VDdem + 0,04.VSPS + 0,16.VPd + 0,14.VDCW + 0,11.VCSD + 0,09.VRRD)_{surface runoff} \quad (1)$$

Onde UFSI = Índice de Susceptibilidade a Inundações Urbanas,  $VSa$  = valor da declividade média da MHU,  $VKc$  = valor do coeficiente de compacidade da MHU,  $VDd$  = valor da densidade de drenagem da MHU,  $VDSP$  = valor do grau de permeabilidade superficial da MHU,  $VDdem$  = valor da densidade demográfica da MHU,  $VSPS$  = valor da susceptibilidade à produção de sedimentos da MHU,  $VPd$  = valor da precipitação diária da MHU,  $VDCW$  = valor do grau de canalização dos cursos d'água da MHU,  $VCSD$  = valor da condição das bocas de lobo da MHU,  $VRRD$  = valor dos

dispositivos de retenção de águas pluviais da MHU. Os primeiros valores referem-se à infiltração e os seguintes ao escoamento superficial.

A Figura 2a mostra o mapa de susceptibilidade das microbacias a inundações urbanas, resultante da aplicação do UFSI. A Figura 2b apresenta o mapa da taxa de registros históricos de inundações urbanas nas microbacias, com base em ocorrências entre 2018 e 2022. As cores azul, verde, amarela, laranja e vermelha indicam níveis muito baixos, baixos, moderados, altos e muito altos de susceptibilidade, respectivamente. Observa-se que as MHUs Bandeira, Prosa, Segredo, Anhanduí e Coqueiro I foram classificadas com alta ou muito alta susceptibilidade. Por outro lado, Imbirussu, Lagoa, Bálamo, Lageado, Gameleira, Coqueiro II e Ribeirão Brotas apresentaram susceptibilidade baixa ou muito baixa (Figura 2a).

Figura 2 - Mapa de susceptibilidade a inundações urbanas pelo UFSI (a) e mapa da taxa de registros históricos de inundações urbanas por mídia de informação (b). Fonte: Moraes e Gonçalves, 2024



Ao comparar os mapas da Figura 2, percebe-se que as MHUs classificadas como de alta e muito alta susceptibilidade pelo UFSI são justamente aquelas que concentraram os maiores registros históricos de inundações urbanas na mídia de informação local. Tal correspondência é confirmada pelo Coeficiente de Correlação de Pearson, que indicou forte correlação ( $r > 0,80$ ) entre os valores do UFSI e as taxas de ocorrências históricas desses desastres hidrológicos. Esse resultado valida a metodologia e demonstra a eficácia do índice proposto para identificar áreas urbanas com maior susceptibilidade a inundações e alagamentos.

As MHUs com maior grau de susceptibilidade apresentam, predominantemente, altos níveis de impermeabilização do solo, elevada densidade populacional e deficiências na infraestrutura urbana, especialmente no que se refere à presença e manutenção de dispositivos de drenagem e retenção de águas pluviais. Esses fatores, combinados, contribuem significativamente para o aumento do risco de inundações e alagamentos. Isso corrobora com os resultados de Ramkar e Yadav (2021) e Mudashiru et al. (2022), que identificaram níveis moderados a elevados de risco de inundações em áreas urbanizadas densamente povoadas. Conclusões similares foram reportadas por Tossi et al. (2019). Na região Nordeste do Brasil, Alves (2017) observou que a deficiência na manutenção dos sistemas de drenagem, associada ao alto grau de urbanização e impermeabilização do solo, contribui significativamente para a recorrência de inundações em Campina Grande – PB.

Nesse cenário, Zhang et al. (2022) destacam que a regulação do sedimento pode auxiliar no controle de desastres hidrológicos. Da mesma forma, Albulescu et al. (2022) apontam que intervenções humanas, por meio de infraestrutura de engenharia, podem atuar como mecanismos eficazes de redução da vulnerabilidade hidrológica e aumento da segurança urbana. Diante disso, recomenda-se fomentar a construção e a manutenção periódica de dispositivos de retenção de água pluvial e estruturas de drenagem em Campo Grande, especialmente como medida preventiva frente a eventos extremos de precipitação no verão.

Concomitantemente, Gupta e Dixit (2023) ressaltam que o planejamento urbano sistemático, contemplando elementos essenciais como parques, áreas verdes e espaços abertos, é crucial para a gestão de riscos hidrológicos. De maneira similar, Lakes e Kim (2012) demonstraram em Seul, Coreia do Sul, a correlação direta entre a impermeabilização do solo e a intensidade das inundações, motivando a incorporação de áreas verdes ao planejamento urbano local. Dessa forma, é necessário incentivar programas e políticas públicas que visem aumentar áreas permeáveis nas regiões centrais dos municípios, a fim de mitigar problemas de infiltração e escoamento superficial (Ikirri et al. 2022; Li et al. 2023; Gupta e Dixit 2023; Moraes e Gonçalves, 2024), assim como impedir construções em áreas de risco a desastres naturais.

Além disso, sugere-se restringir novos empreendimentos nas MHUs classificadas com muito alta susceptibilidade, exigindo estudos prévios para mitigar danos ambientais, sociais e econômicos, conforme proposto por Ikirri et al. (2022). Por fim, é essencial ampliar e fortalecer programas de monitoramento contínuo de dados hidrológicos no município, considerando que a escassez dessas informações ainda é um entrave à gestão sustentável das MHUs em países em desenvolvimento, como alertado por Costache et al. (2022). Reforça-se também a necessidade de revisões periódicas do UFSI, considerando as mudanças nas condições naturais e socioeconômicas das microbacias, bem como atualizações nas bases de dados sobre infraestrutura urbana e hidrológica (como ruas, canalizações, bocas de lobo e áreas impermeabilizadas).

## CONCLUSÕES

O UFSI desenvolvido neste estudo incorpora indicadores de diferentes naturezas — morfológica, ambiental, de uso e ocupação do solo e de infraestrutura urbana — permitindo uma avaliação integrada e abrangente da susceptibilidade das MHUs. Essa abordagem multidimensional mostrou-se essencial para compreender a complexidade dos processos associados aos desastres hidrológicos em áreas urbanas. A forte correlação ( $r > 0,80$ ) entre os valores do UFSI e as taxas de registros históricos de inundações urbanas nas MHUs valida a robustez do índice proposto e atesta sua confiabilidade para aplicação prática.

As MHUs com maior grau de susceptibilidade apresentaram, predominantemente, altos níveis de impermeabilização, elevada densidade populacional e deficiências na infraestrutura urbana, especialmente no que se refere à presença e manutenção de dispositivos de drenagem e retenção de águas pluviais. Esses fatores, combinados, contribuem significativamente para o aumento do risco de inundações e alagamentos.

A integração entre AHP e SIG demonstrou-se eficaz na análise de problemas complexos envolvendo múltiplos indicadores em áreas urbanas extensas. A metodologia proposta é replicável em outras regiões, desde que os pesos atribuídos aos indicadores sejam ajustados por especialistas locais, respeitando as particularidades da área de estudo e mantendo a razão de consistência dentro do limite aceitável ( $CR < 0,10$ ). Portanto, o UFSI configura-se como uma ferramenta estratégica para o planejamento urbano e a gestão territorial, com potencial para subsidiar políticas públicas, diretrizes

técnicas e instrumentos legais voltados à mitigação de desastres hidrológicos. Sua aplicação pode orientar ações prioritárias em MHUs mais vulneráveis, promovendo um desenvolvimento urbano mais seguro, resiliente e sustentável.

**AGRADECIMENTOS** - À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) pela concessão da bolsa de doutorado. À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA) pela oportunidade de realização do doutorado e pelo incentivo à participação em eventos científicos.

## REFERÊNCIAS

- ABDRABO, K. I., KANTOUSH, S. A., ESMAIEL, A., SABER, M., SUMI, T., ALMAMARI, M., ELBOSHY, B. & GHONIEM, S. (2023). *“An integrated indicator-based approach for constructing an urban flood vulnerability index as an urban decision-making tool using the PCA and AHP techniques: A case study of Alexandria, Egypt”*. *Urban Climate*, 48, 101426.
- ALBULESCU, A.C; MINEA, I.; BOICU, D.; LARION, D. (2022). *“Comparative Multi-Criteria Assessment of Hydrological Vulnerability - Case Study: Drainage Basins in the Northeast Region of Romania”*. *Water* 14(8), pp.1302.
- ALVES, P.B.R. (2017). *“Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas”*. Dissertation, Federal University of Campina Grande.
- ARAUJO, J. C., & DIAS, F. F. (2021). *“Multicriteria method of AHP analysis for the identification of coastal vulnerability regarding the rise of sea level: case study in Ilha Grande Bay, Rio de Janeiro – Brazil”*. *Natural Hazards*, 107(1), 53-72.
- COSTACHE, R. et al. (2022). *“Flash-flood hazard using deep learning based on H2O R package and fuzzy-multicriteria decision-making analysis”*. *Journal of Hydrology* 609:127747.
- DASH, P.; SAR, J. (2020). *“Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index”*. *Journal of Flood Risk Management* 13(3): 12620.
- GUPTA, L., & DIXIT, J. (2023). *“Assessment of urban flood susceptibility and role of urban green space (UGS) on flooding susceptibility using GIS-based probabilistic models”*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12), 1518.
- IKIRRI, M.; FAIK, F.; ECHOGDALI, F. Z. et al. (2022). *“Flood hazard index application in arid catchments: Case of the taguentit wadi watershed, Lakhssas, Morocco”*. *Land* 11(8):1178.
- LAKES, T., & KIM, H. O. (2012). *“The urban environmental indicator “Biotope Area Ratio”- An enhanced approach to assess and manage the urban ecosystem services using high resolution remote-sensing”*. *Ecological Indicators*, 13(1), 93-103.
- LI, Y., OSEI, F. B., HU, T., & STEIN, A. (2023). *“Urban flood susceptibility mapping based on social media data in Chengdu city, China”*. *Sustainable Cities and Society*, 88, 104307.
- MALCZEWSKI, J. (2006). *“GIS based multicriteria decision analysis: a survey of the literature”*. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703- 726.

- MELO, S. K. de, ALMEIDA, A. K., & de ALMEIDA, I. K. (2023). *“Multicriteria analysis for flood risk map development: a hierarchical method applied to Brazilian cities”*. Environmental Science and Pollution Research, 30(33), 80311-80334.
- MORAES, R. B. F. de; GONÇALVES, F. V. (2024). *“Development, Application, and Validation of the Urban Flood Susceptibility Index”*. Water Resources Management, 38(7), 2511-2525.
- MUDASHIRU, R. B.; SABTU, N.; ABDULLAH, R. et al. (2022). *“Optimality of flood influencing factors for flood hazard mapping: An evaluation of two multi-criteria decision-making methods”*. Journal of Hydrology 612:128055.
- MUNICIPAL AGENCY FOR THE ENVIRONMENT AND URBAN PLANNING – PLANURB. (2020). *“Perfil socioeconômico de Campo Grande”*. <http://www.campogrande.ms.gov.br/planurb/downloads/perfil-socioeconomico-de-campo-grande-ms-edicao-2020/>. Accessed 10 February 2024.
- QUESADA-ROMÁN, A. (2022). *“Flood risk index development at the municipal level in Costa Rica: A methodological framework”*. Environmental Science & Policy, 133, 98- 106.
- RAMKAR, P.; YADAV, S. M. (2021). *“Flood risk index in data-scarce river basins using the AHP and GIS approach”*. Natural Hazards 109(1):1119-1140.
- SAATY, T. L. (1977). *“A scaling method for priorities in hierarchical structures”*. Journal of Mathematical Psychology 15(3):234-281.
- SANTOS, J. C. dos, LYRA, G. B., ABREU, M. C., ANDRADE, C. D., MOSTER, C., CUNHA-ZERI, G., & ZERI, M. (2023). *“Flood-prone areas based on physiographic indices and multi-criteria assessment for the basins of Ubatuba, on the mountainous North Coast of São Paulo State, Brazil”*. Environmental Earth Sciences, 82(21), 517.
- SINGH, A. P.; BHAKAR, P. (2021). *“Development of groundwater sustainability index: a case study of western arid region of Rajasthan, India”*. Environment, Development and Sustainability 23(2):1844-1868.
- SWAIN, K. C.; SINGHA, C.; NAYAK, L. (2020). *“Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud”*. ISPRS International Journal of Geo-Information 9(12):720.
- TOOSI, A. S.; CALBIMONTE, G. H.; NOURI, H.; ALAGHMAN, D. S. (2019). *“River basin-scale flood hazard assessment using a modified multi-criteria decision analysis approach: A case study. J. Hydrol”*. 574:660-671.
- WANG, W. J., KIM, D., KIM, G., KIM, K. T., KIM, S., & KIM, H. S. (2024). *“Flood risk assessment of the naeseongcheon stream basin, Korea using the grid-based flood risk index”*. Journal of Hydrology: Regional Studies, 51, 101619.
- YOUSSEF, A. M., POURGHASEMI, H. R., MAHDI, A. M., & MATAR, S. S. (2023). *“Flood vulnerability mapping and urban sprawl suitability using FR, LR, and SVM models”*. Environmental Science and Pollution Research, 30(6), 16081-16105.
- ZHANG, C.; KUAI, S.; TANG, C.; ZHANG, S. (2022). *“Evaluation of hydrological connectivity in a river floodplain system and its influence on the vegetation coverage”*. Ecological Indicators 144:109445.