



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Avaliação de Risco a Inundações: Análise Bibliométrica entre 2010 e 2024

Mahomed Shabir J. MIA¹; Laurindo A. GUASSELLI² & Guilherme G. de OLIVEIRA³

¹Doutorando em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, miatrabalhos@gmail.com; ²Professor Titular, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, laurindo.guasselli@ufrgs.br; ³ Professor Adjunto, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, g.g.oliveira10@gmail.com

Artigo recebido em 18/03/2026 e aceito em 20/05/2026

RESUMO

As inundações constituem um dos principais e mais devastadores eventos extremos hidrológicos em todo o mundo, provocando cada vez mais danos e perdas principalmente em países em desenvolvimento. A avaliação de riscos hidrológicos constitui um dos principais mecanismos para gestão dos impactos causados por esses eventos. O presente artigo tem como objetivo uma revisão bibliométrica sobre o desenvolvimento da avaliação de risco a inundações entre 2010 e 2024. A revisão foi feita na base de dados *Scopus* e a análise quantitativa no software *Bibliometrix*. O risco a inundações tem se tornado uma preocupação em escala global, refletindo num crescimento anual de 9,31% de estudos e publicações relacionados com esta temática. A China apresenta o maior número de artigos publicados e o periódico *Natural Hazards* o mais importante nessa temática. Nos últimos anos, o uso de aprendizado de máquinas tem sido a tendência no campo de avaliação de risco a inundações. Apesar deste crescimento e evolução nos estudos, ainda se têm utilizado predominantemente dois elementos para a avaliação do risco: o perigo e a vulnerabilidade. Contudo, pesquisas recentes trazem o grau de exposição como um importante terceiro elemento. Para a obtenção de resultados mais acurados e precisos, vários autores combinaram diferentes metodologias de avaliação de risco a inundações.

Palavras-chave: desastres hidrológicos, gestão de riscos, perigo, vulnerabilidade.

Flood Risk Assessment: A Bibliometric Analysis between 2010 and 2024

ABSTRACT

Floods are one of the main and most devastating extreme hydrological events worldwide, causing more and more damage and losses, especially in developing countries. Risk assessment is one of the main mechanisms for managing the impacts caused by these events. This article aims to carry out a bibliometric review of the development of flood risk assessment between 2010 and 2024. The review was carried out using the *Scopus* database and the quantitative analysis using *Bibliometrix* software. Flood risk has become a concern on a global scale, reflecting an annual growth of 9.31 per cent in studies and publications related to this topic. China has the largest number of published articles and the journal *Natural Hazards* is the most important in this area. In recent years, the use of machine learning has been a trend in the field of flood risk assessment. Despite this growth and evolution in studies, two elements have still been used predominantly for risk assessment: hazard and vulnerability. However, recent research has introduced the degree of exposure as an important third element. To obtain more accurate and precise results, several authors have combined different flood risk assessment methodologies.

Keywords: hydrological disasters, risk management, hazard, vulnerability

Introdução

Nas últimas décadas, a ocorrência de inundações tem atraído a atenção de pesquisadores devido ao caráter catastrófico e à capacidade de causar significativas perdas econômicas, ambientais e humanas (Mukhtar et al., 2024; Roy et al., 2021). O impacto das inundações associadas a eventos extremos nos países em vias de desenvolvimento é alto, influenciado pela alta

vulnerabilidade, exposição e a baixa capacidade adaptativa e de recuperação das suas comunidades (Vegad et al., 2024). Assim, as ações de reconhecimento antecipado do risco, previsão e monitoramento das inundações tornam-se importantes e urgentes para a redução, gestão e preparação de ações para o controle das inundações. Uma das ações é constituída pela análise e avaliação de risco, que não é uma tarefa

fácil, devido à acessibilidade, quantidade e qualidade dos dados (Hu et al., 2024; Li et al., 2024a).

De acordo com Peng e Li (2021), o risco à inundação é a combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento extremo hidrológico e o potencial de criar consequências adversas. Assim, para a avaliação de risco à inundação costuma ser considerado: i) o perigo, representado pela probabilidade e pela magnitude da inundação; ii) a exposição, constituída por aspectos físicos, ambientais e sociais expostos ao processo perigoso, e; iii) a vulnerabilidade das comunidades e/ou do sistema, representada pelos aspectos adversos causados às comunidades (Li et al., 2024b).

Atualmente, a minimização dos efeitos das inundações por meio da avaliação de risco recebe mais atenção em detrimento dos métodos de controle de inundação por meio de medidas estruturais (Romali et al., 2018). Assim, a avaliação de risco à inundação que incorpore o perigo, a exposição e vulnerabilidade vem ganhando uma crescente atenção. Tem havido um grande esforço para compreender, prever, analisar e quantificar as inundações e os seus impactos (Mudashiru et al., 2021). Contudo, o conhecimento dos mecanismos das inundações através de métodos de avaliação e análise de risco ainda é um grande desafio para os pesquisadores de diferentes áreas (Boultif et al., 2024).

Segundo Horvat e Krvavica (2023), qualquer uma dessas metodologias está sujeita a incertezas relacionadas ao sistema hidrológico observado, aos conhecimentos adquiridos sobre este mesmo sistema, à quantidade e qualidade de dados, entre outros. Apesar disso, o desenvolvimento e aplicação de planos de gestão das inundações que incluam medidas de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação são as formas mais eficazes para a redução dos impactos das inundações (Xafoulis et al., 2023). O mapeamento das inundações torna-se numa ferramenta crucial, visto que permite a identificação do perigo, exposição, frequência, estimativa da extensão da inundação e vulnerabilidade e resiliência das comunidades sobre esses eventos.

Entretanto, as metodologias de avaliação de risco a inundações apresentam diferentes abordagens. Os produtos gerados apresentam limitações e fragilidades condicionando a sua aplicação no planejamento e gestão de riscos. Grande parte dos mapas de vulnerabilidade a inundações leva em conta os aspectos socioeconômicos (idosos, pessoas com deficiências, mulheres, crianças, renda, tipo de construção e qualidade construtiva, proximidade

ao curso de água, entre outros) e a altura e extensão da mancha de inundação. No entanto, dependendo do tipo de fluxo (enxurrada ou inundação) uma comunidade poderá tornar-se mais ou menos vulnerável. Por exemplo, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Estado do Rio Grande do Sul é o quarto estado brasileiro com a maior renda domiciliar per capita e com um IDH de 0,771, significando (em princípio) uma baixa vulnerabilidade a inundações. Porém, as inundações ocorridas em 2024 que afetaram o Estado, trouxeram à tona a necessidade de introdução de outros elementos para essa análise.

Por outro lado, os produtos relativos ao perigo costumam considerar somente o tempo de retorno (TR) das inundações e refletem apenas a mancha potencial associada a uma probabilidade de ocorrência. Apesar destas informações serem importantes, a velocidade e altura da lâmina de água (profundidade da inundação) são informações relevantes na avaliação do perigo, visto que os danos estão diretamente relacionados à influência destas (Lazzarin et al., 2022; Rahman et al., 2025).

Assim, este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliométrica de artigos sobre a avaliação do risco a inundação, no contexto atual, refletindo o estado da arte em relação a esse tópico. Descreve as abordagens recentes sobre avaliação do risco à inundação, considerando o período entre 2010 e 2024, apresenta os conceitos frequentemente adotados de risco, as principais metodologias e dados na avaliação de risco à inundação, os principais avanços, limitações, desafios e perspectivas. Apesar de constituir uma revisão bibliométrica, o trabalho explora os desafios e possibilidades de investigação na área de avaliação de riscos a inundações o que permite abrir possibilidades para futuras investigações.

Materiais e Métodos

As investigações mais recentes têm usado um conceito mais abrangente de risco. Para analisar a tendência desses estudos sobre a avaliação do risco à inundação foi utilizada uma análise bibliométrica. Trata-se de uma abordagem quantitativa para avaliação e monitoramento de pesquisas publicadas sobre o tema (Rodriguez-Soler et al., 2020). A análise bibliométrica é uma forma quantitativa e estatística de analisar a literatura acadêmica para descrever, avaliar e acompanhar a investigação na forma de publicações. A bibliometria tem sido aplicada a todas as áreas do conhecimento, mas a análise dos dados bibliométricos é complexa porque o processo envolve muitas ferramentas de *software*

de análise e mapeamento diferentes (Ariaa & Cuccurullo, 2017; Owolabia & Sajjad, 2023).

A pesquisa foi realizada a partir da base de dados *Scopus*, uma das maiores bases de dados de artigos científicos. Foi utilizada a *bibliometrix*, uma ferramenta de código aberto baseada na linguagem R, usada para análises de dados bibliométricos. Esta ferramenta facilita a análise temporal e as publicações de um determinado campo de investigação (Owolabia & Sajjad, 2023; Wei & Jiang, 2023). A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, sendo a primeira a seleção dos artigos e a segunda, o processamento e análise dos dados.

Devido às várias vertentes conceituais, temáticas e metodológicas de análise das inundações como, por exemplo, inundações causadas por marés, inundações costeiras, inundação de áreas de mangue, entre outras e tendo em consideração o objeto de estudo, os dados foram coletados usando as seguintes expressões: (“flood risk assessment” OR “flood risk analysis”) AND ALL (“flood” OR “flooding” OR “inundation”) AND NOT ALL (“coast” OR “coastal” OR “wave” OR “tidal”) AND NOT ALL (“mangrove”). Estes termos foram usados para tornar mais específica e detalhada a pesquisa e a sua análise.

Foram pré-definidos alguns condicionantes para refinar a pesquisa e tornar mais precisa ao objeto em estudo. Foi definido o período entre 2010 e 2024 e excluídas as áreas de pesquisa não afins ao tema, como ciências agrícolas e biológicas, energia, bioquímica, genética e biologia molecular, física e astronomia, ciências dos materiais, medicina, engenharia química, profissões da saúde, química, farmacologia, toxicologia e farmácia e enfermagem. Para além de não serem áreas afins, estas não constituem o objeto de pesquisa. Com os critérios de pesquisa adotados, foram obtidos 750 artigos para posterior análise bibliométrica.

Os documentos incluídos foram extraídos como ficheiro único no formato *Microsoft Excel comma-separated variables (.csv)* contendo detalhes dos artigos, com o nome dos autores, títulos, países, editoras, ano de publicação, entre outros. Para a visualização e análise dos dados foi usado o software *Bibliometrix*, permitindo assim fazer o mapeamento da informação sobre a evolução de trabalhos na área, as metodologias utilizadas, os países com maior número de publicações na área, coocorrência, a conexão das expressões, entre outros aspectos. De acordo com Ianda et al. (2024), o *software* também permite medidas e indicadores bibliométricos padronizados e consistentes, garantindo uma análise de dados fiável e comparável à outra literatura no domínio científico.

Com base nos resultados obtidos por meio do software *Bibliometrix*, procedeu-se à realização de uma revisão sistemática da literatura. Foram selecionados os 20 artigos mais citados, os quais foram analisados em termos de conceitos, abordagens metodológicas, avanços, limitações e desafios associados à avaliação de risco à inundação.

Resultados

Os resultados obtidos a partir do *software Bibliometrix* mostram que, no período entre 2010 e 2024, foram produzidos 750 documentos, entre capítulos de livro e artigos científicos, distribuídos em 332 fontes (periódicos). Neste período verificou-se uma taxa de crescimento anual de artigos de 9,31% (Figura 1). Do total de 2.774 autores, apenas 44 deles produziram trabalhos sem coautoria, indicando assim uma colaboração razoável entre os autores, visto que a taxa de coautoria internacional é de 24,13%. Em média cada artigo possui 4,16 coautores, o que mostra uma tendência de colaboração dos autores na produção científica.



Figura 1: Síntese das informações relacionadas à produção intelectual sobre avaliação de riscos a inundações, a partir do software *Bibliometrix*.

Esta análise também revela que foram usadas 2.033 palavras-chave na categorização dos artigos. Em relação ao impacto acadêmico, apresentam uma média de citação de 15,33 citações por artigo, mostrando a sua relevância sobre a temática.

A dinâmica da produção científica entre 2010 e 2024 (Figura 2) mostra uma variação não

linear na produção de artigos. Os anos 2011, 2016, 2018, 2019, 2020, 2022, 2023 e 2024 registraram a maior produção de artigos, ultrapassando os 50 trabalhos. Em 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017 e 2021 foram os anos com a menor produção científica. Apesar desta variação, verificou-se uma tendência de aumento significativo na produção científica entre 2010 e 2024 (Figura 2).

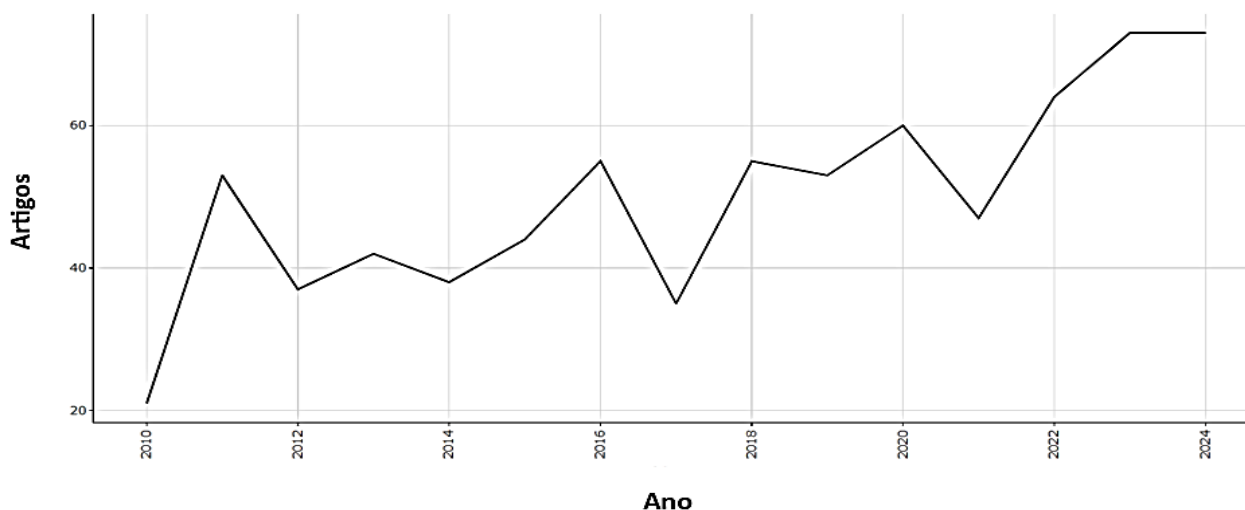


Figura 2: Produção científica anual sobre avaliação de riscos a inundações, entre 2010 e 2024.

O número dos documentos publicados pelas diversas fontes e o valor cumulativo ao longo do período em análise nos permite analisar a relevância e atualidade do tema, bem como a contribuição dos diferentes periódicos nas diferentes áreas do conhecimento. Os resultados (Figura 3) mostram que os periódicos “*Natural Hazards*”, “*Journal of Hydrology*” e o “*Journal of Flood Risk Management*” destacam-se com o

maior número de publicações. Destaque também, para outras revistas e periódicos, como “*Geomatics, Natural Hazards and Risk*” e “*International Geoscience and Remote Sensing Sympos*”. Destacamos que esses periódicos têm foco mais relacionado ao SIG (Sistema de Informação Geográfica) e SR (Sensoriamento Remoto).

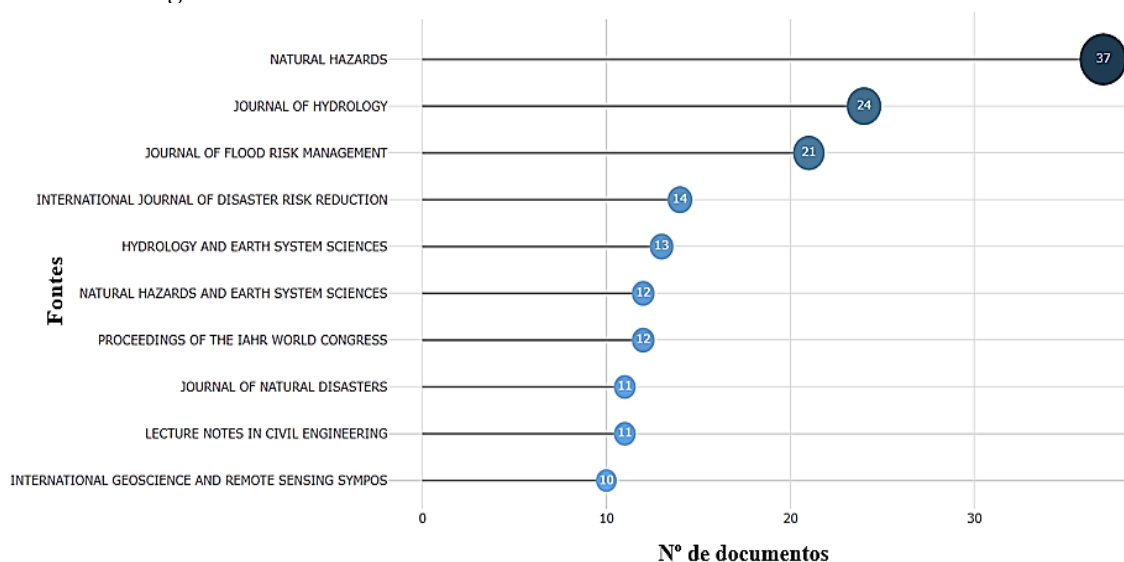


Figura 3: Revistas e Periódicos com maior número em publicações sobre avaliação de riscos a inundações, entre 2010 e 2024.

Entre 2010 e 2024, quase todos os periódicos mostraram um crescimento gradual e linear no número de publicações, com exceção do “*Natural Hazards*” (Figura 4). A partir de 2015, todos os periódicos apresentaram um crescimento

nas publicações, continuando a destacar-se o “*Natural Hazards*”. A atualidade e importância do tema, as mudanças climáticas e a intensificação da ocorrência dos eventos extremos hidrológicos contribuíram para este crescimento.

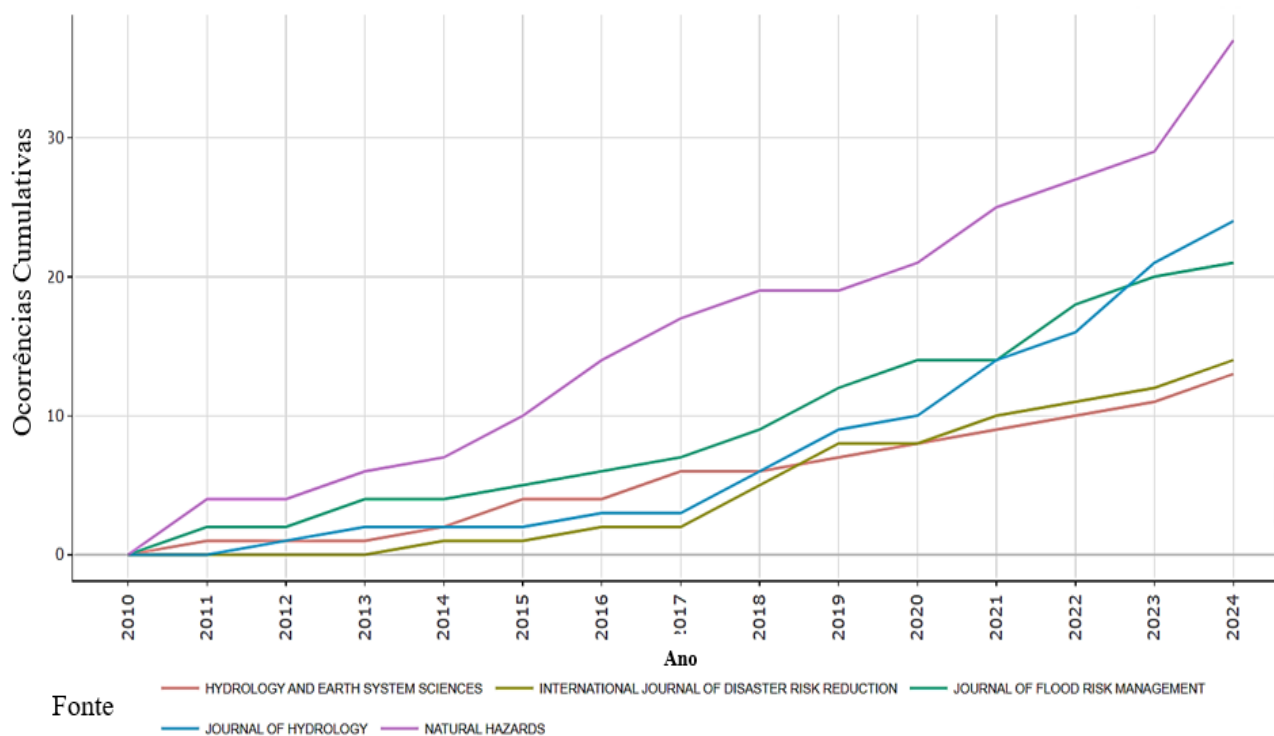


Figura 4: Análise cumulativa das publicações sobre avaliação de riscos a inundações, por periódico, entre 2010 e 2024.

De acordo com Wei e Jiang (2023), a análise das citações constitui uma técnica de mapeamento científico que indica o impacto dos autores, fonte e documentos num determinado campo acadêmico ou científico. Este indicador reflete a influência e a importância destes estudos na área. A análise das citações permite-nos identificar os trabalhos mais relevantes sobre o tema em questão e servem de referência para os estudos posteriores. Estes artigos com maior quantidade de citações revelam avanços e a aplicação de novas metodologias para o estudo do risco a inundações.

Zhou Jianzhong é um dos autores mais importantes na produção de artigos relacionados a risco a inundações. Mas, é o artigo de Zou Q. de

2013 publicado em *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, que lidera com 334 citações. Este artigo faz uma avaliação do risco a inundações usando a lógica fuzzy. Além deste, o artigo de Mojaddadi et al. de 2017, em *Geomatics Natural Hazards and Risk*, também é muito citado em diversos artigos (Figura 5). O artigo de Mojaddadi et al. (2017) utiliza o aprendizado de máquinas e dados de sensoriamento remoto para a avaliação do risco a inundações. Os estudos com maior número de citações (Figura 5) consistem em estudos aplicados que se utilizam de diversas metodologias para avaliação do risco à inundação (ver seção 2.3). Destaca-se que destes, apenas o trabalho de Tsakiris (2014) é um artigo de revisão.

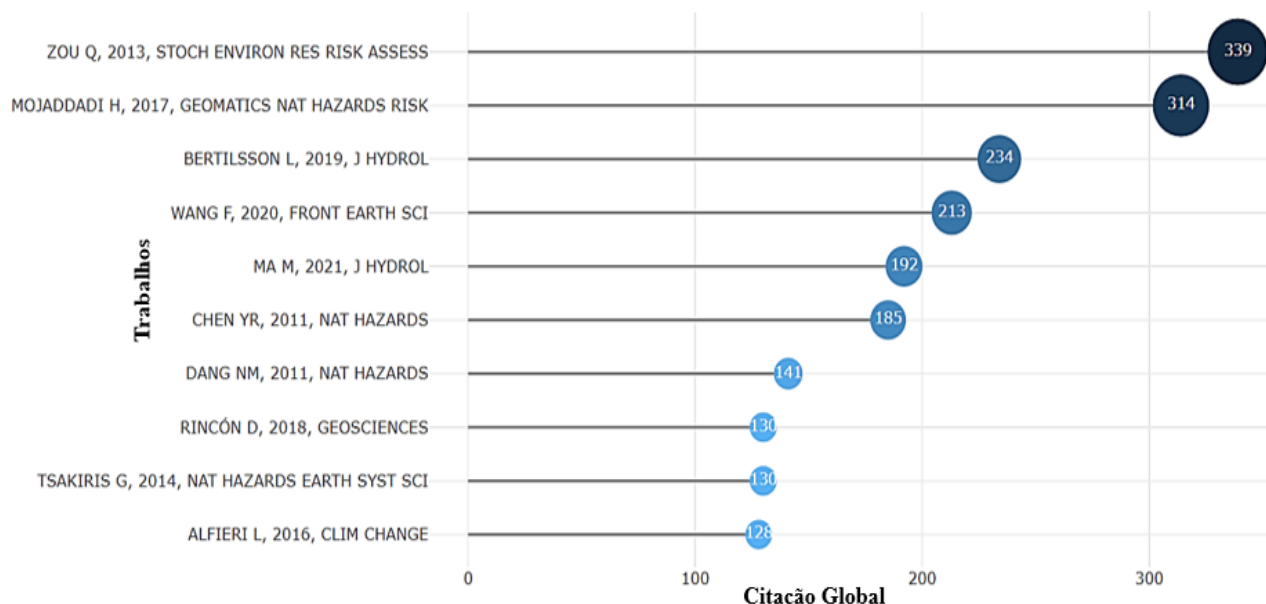


Figura 5: Artigos mais citados no mundo sobre avaliação de riscos a inundações, entre 2010 e 2024.

Em relação aos autores, Zhou Jianzhong, Yi Shanzhen, Kwak Youngjoo, Zou Qiang, Simonovic Slobodan, Wang Huimin e Zeleňáková Martina são os autores mais relevantes em termos de número de pesquisas publicadas sobre a

avaliação de risco à inundação (Figura 6). Entretanto, apesar do Zhou Jianzhong apresentar uma maior quantidade de publicações, o Zou Qiang, Wang Huimin e Agarwal Pankaj apresentam publicações mais recentes.

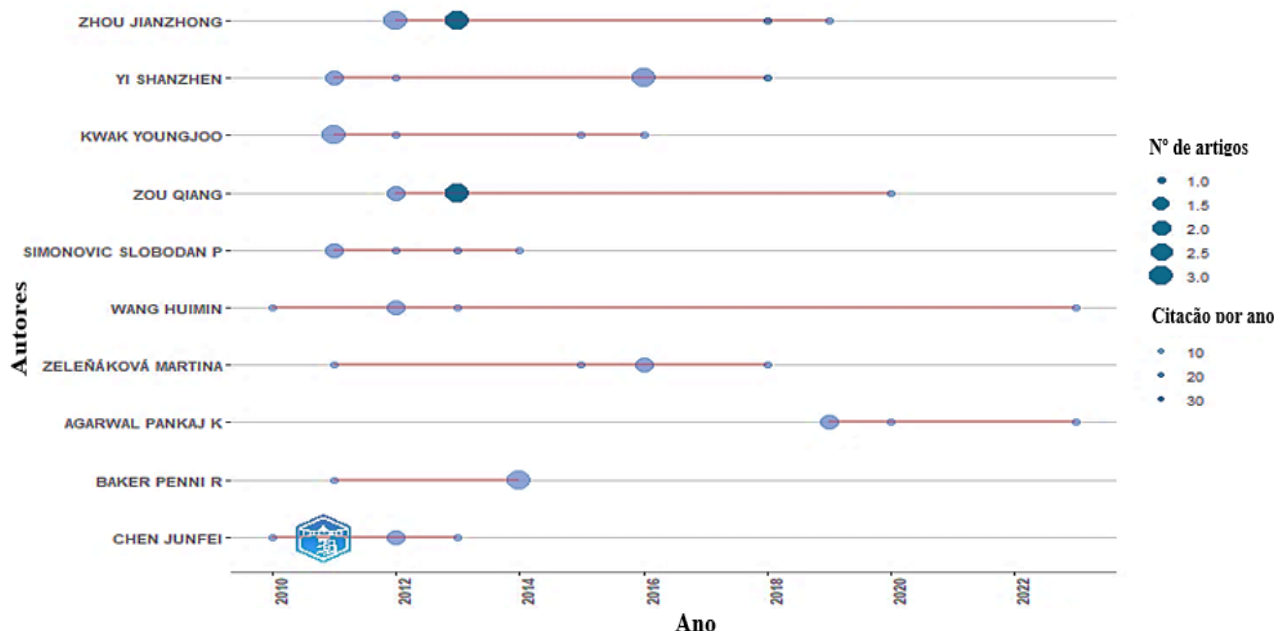


Figura 6: Produção científica dos autores, entre 2010 e 2024.

A produção científica global mostra uma distribuição desigual, evidenciando países com um grande volume de produção científica e outros com uma baixa produção. Um dos resultados gerados pelo *Bibliometrix* é o mapa coroplético, que mostra em diferentes tonalidades a diferença de quantidades de produção científica entre os países

(Figura 7). A China se destaca como o país com maior produção científica, fato que revela os investimentos feitos na área da pesquisa e publicações. Os Estados Unidos da América, a Europa, Índia, Brasil, África do Sul, Egito, Marrocos, entre outros também se apresentam como grandes atores neste campo.

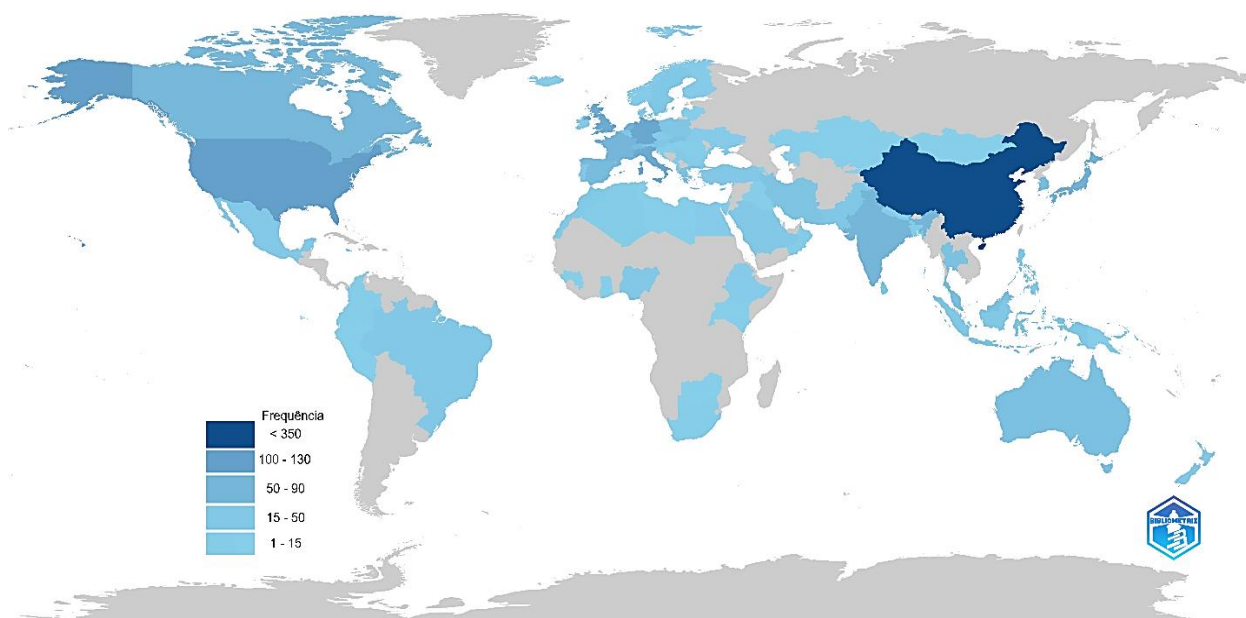


Figura 7: Produção científica por país, entre 2010 e 2024.

De um lado temos países como a China, os EUA, Itália, Alemanha e Índia, como as regiões com maiores produções científicas, de outro temos a maioria dos países africanos, da América do Sul e Central e Ásia central com uma produção científica muito baixa. Isso pode revelar escassez de financiamento, de infraestruturas e inserção em redes de colaboração científica. As desigualdades na produção não só evidenciam o poder econômico dos países, mas também as políticas nacionais voltadas ao fortalecimento do investimento em pesquisa e redes de colaboração científica.

Nos últimos anos, a China vem mostrando

um crescimento acelerado, tornando-se o país com a maior quantidade de publicações sobre a avaliação de risco a inundações. Outros países também se destacam como EUA, Alemanha, Itália e Reino Unido (Figura 8). O destaque da China indica não só a preocupação com a minimização de um problema que o afeta de forma cíclica, mas também indica a ampliação da capacidade produtiva do país em termos acadêmicos, científicos e intelectual além da das questões geopolíticas mundiais. A China tem realizado um forte investimento em educação e isso tem se refletido no aumento da sua produção intelectual.

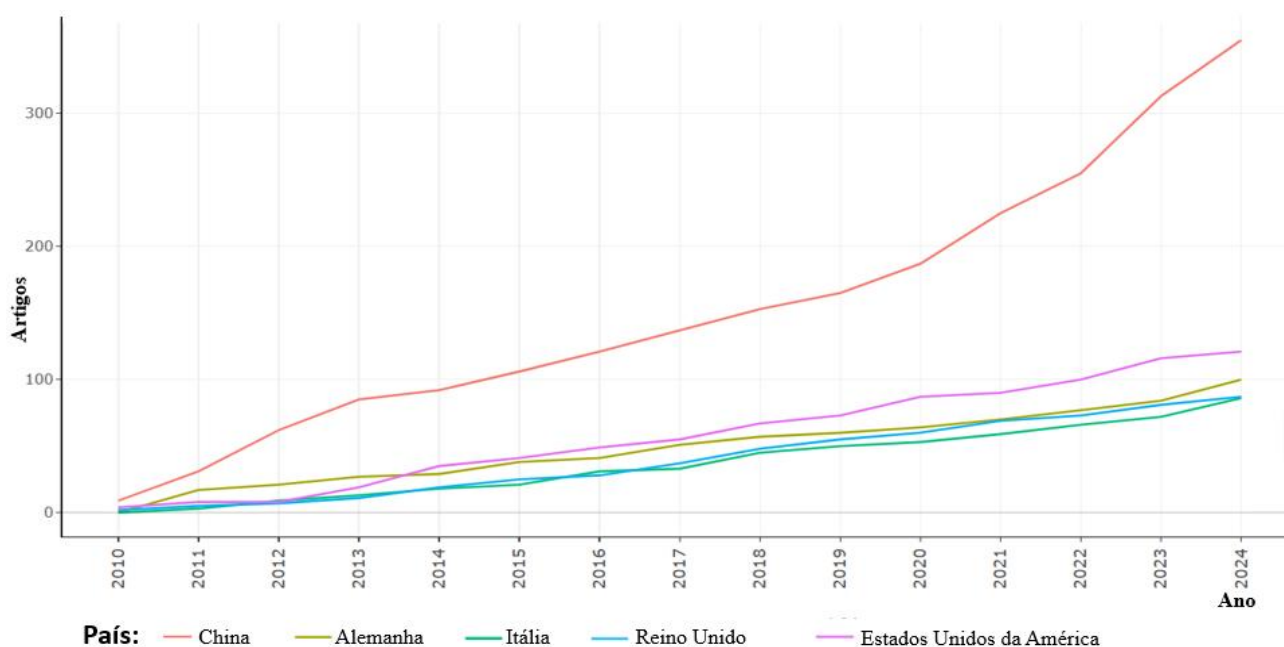


Figura 8: Evolução da produção científica por país sobre avaliação de risco a inundações, entre 2010 e 2024.

A distribuição da produção científica é feita levando em consideração a filiação geográfica do autor correspondente. Nesse aspecto, a China destaca-se não só pela quantidade de produção e publicação de forma individual e exclusivamente dentro do país (SCP) como também em trabalhos

de coautoria e publicação internacional (MCP). Este fato mostra a forte capacidade das redes acadêmicas internas na China, como também a expansão das redes de coautoria internacional (Figura 9).

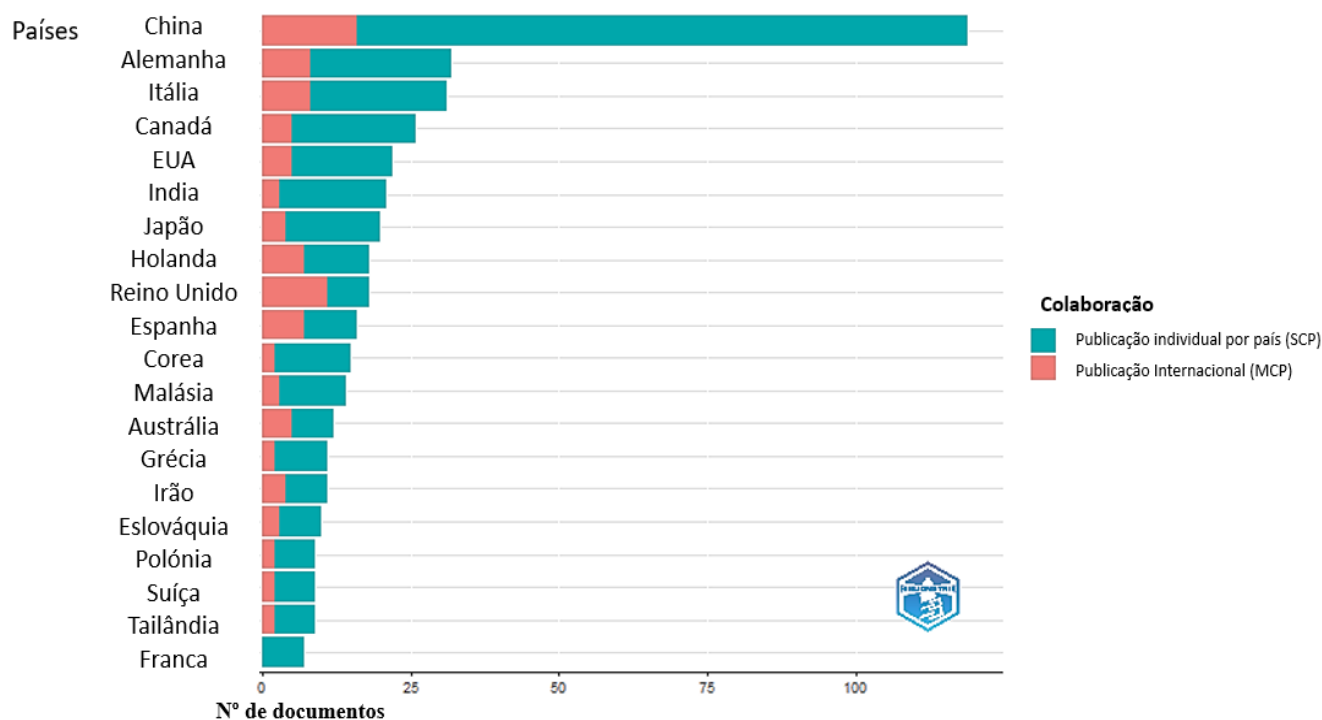


Figura 9: Filiação dos autores nas publicações sobre avaliação de risco à inundação, entre 2010 e 2024

O Reino Unido, Alemanha, Itália, Holanda, Espanha apresentam taxas elevadas de publicações internacionais (MCP), mostrando a sua inserção em redes colaborativas no mundo.

De acordo com Wagner et al. (2017), a colaboração internacional continua a crescer e reflete o fato de que à medida que mais países têm possibilidades de entrarem para uma rede de colaboração internacional, eles o fazem. Dos principais benefícios da colaboração internacional comparativamente as produções nacionais prendem-se ao fato de que as publicações internacionais possuem maior taxa de citação e promovem a circulação de conhecimentos.

As palavras-chave mais relevantes e que constituem o tema central das pesquisas é "*risk assessment*" (avaliação de risco), seguido de

"*floods*" (inundações), "*flood control*" (controle de inundações) e "*flood risk assessments*" (avaliações de risco a inundações) (Figura 10). Outras palavras como "*climate change*" (mudanças climáticas), "*GIS*" (Sistemas de Informação Geográfica), "*Remote Sensing*" (Sensoriamento Remoto) são usadas com frequência. Esta abordagem permite avaliar as palavras mais relevantes e usadas nos dados de diferentes documentos (Owolabia & Sajjad, 2023).

A utilização frequente desses termos sugere que o foco da questão se resume à análise, controle e monitoramento de áreas de risco a inundações com uso de métodos relacionados às geotecnologias. A presença de termos ligados às mudanças climáticas sugere ser um fator cada vez mais importante na avaliação de risco à inundação.



Figura 10: Principais palavras-chave associadas a pesquisas de avaliação de risco à inundação, entre 2010 e 2024.

Uma visão das áreas prioritárias nas publicações (Figura 10) sobre avaliação de risco a inundações mostra que as metodologias envolvidas e a multidisciplinaridade do tema, se destacam como desafios na gestão do risco a inundações num contexto de mudanças climáticas.

A análise da tendência dos t picos relacionados mostra que “*flood risk assessment*”, “*flooding*”, “*hydrodynamics*”, “*hierarchical system*” se destacam (Figura 11). Entretanto, nos

 ltimos anos, os temas relacionados a “*machine learning*”, “*deep learning*” e “*remote sensing*” vem ganhando destaque. A tendência das pesquisas está mais concentrada em automação dos processos e usos de medições indiretas com uso de dados de sensoriamento remoto. De acordo com Prahani et al. (2024), a identificação da tendência das palavras-chave detecta o comportamento das pesquisas, apontando as pesquisas mais populares e as atuais pesquisas num determinado campo de atuação.

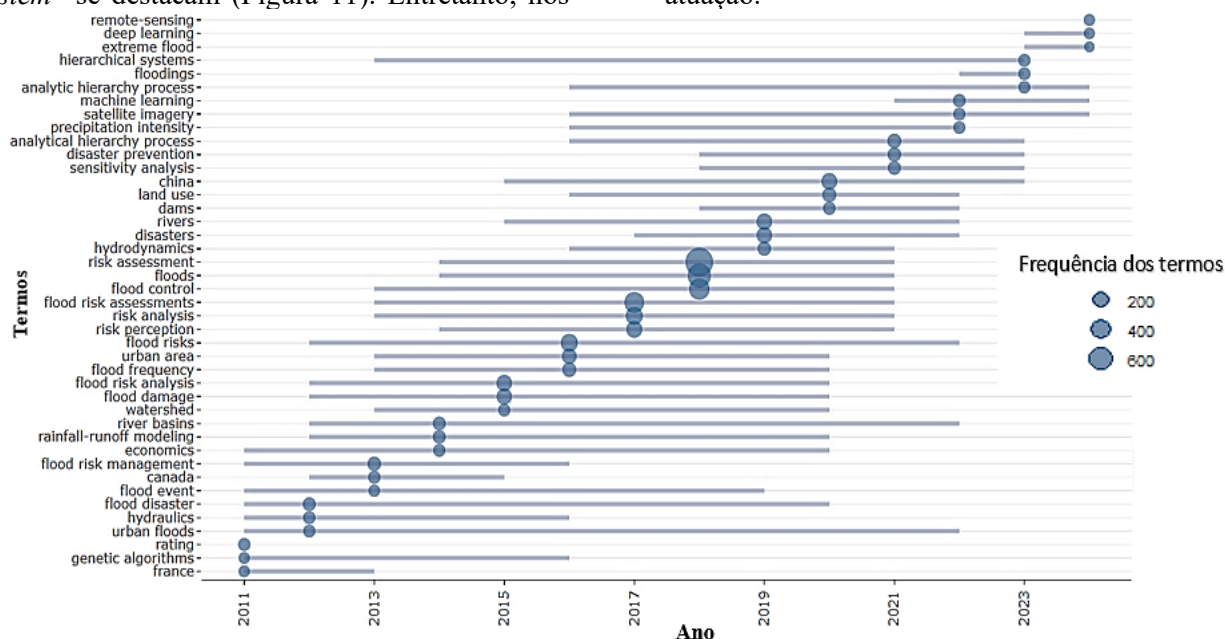


Figura 11: Tendência dos t picos nas pesquisas de avaliação de risco   inundação, entre 2010 e 2024.

A rede de coocorrência consiste em vários *clusters* temáticos, em que cada *cluster* representa um grupo de termos relacionados, sugerindo temas prevalentes e direções de pesquisa (Prahani et al., 2024). A rede de coocorrência das palavras mostra

a relação entre as diferentes pesquisas realizadas neste campo. Para Ariaa e Cuccurullo (2017), o objetivo desta análise é desenhar a estrutura conceitual usando uma rede de palavras para mapear e agrupar os diferentes termos extraídos

das palavras-chave, resumo e títulos. No mapa de coocorrência (Figura 12) as palavras mais frequentes são “*risk assessment*”, “*floods*”, “*flood risk assessment*” e “*flood control*”. Observam-se dois *clusters* de coocorrência, o primeiro composto por palavras relacionadas ao monitoramento e

gestão das inundações e o segundo *cluster* composto por métodos, pela vulnerabilidade e perigo a inundações. Estes agrupamentos mostram que os temas estão intimamente relacionados e refletem a colaboração interdisciplinar dos temas específicos.

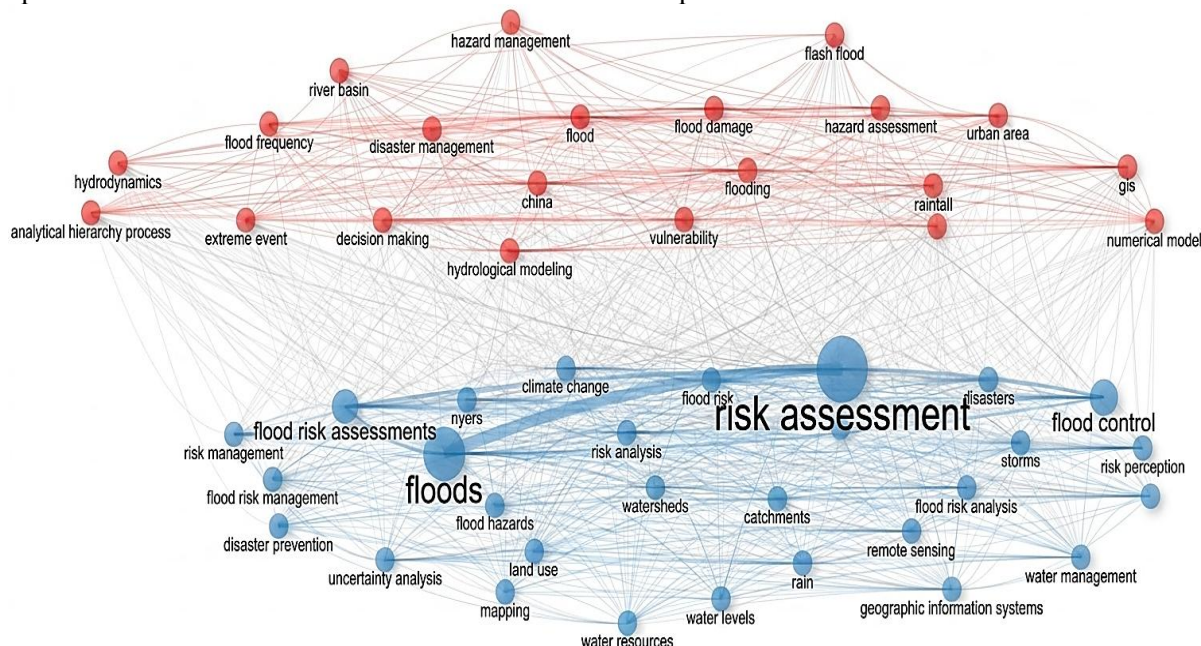


Figura 12: Mapa de coocorrência de palavras sobre avaliação de risco à inundação, entre 2010 e 2024.

A análise da coocorrência é uma abordagem e uma técnica importante na análise bibliométrica para descrever o conteúdo do trabalho acadêmico com base no agrupamento de palavras (Owolabia & Sajjad, 2023). De forma geral, o mapa de coocorrência mostra a estrutura interdisciplinar nas diversas pesquisas sobre gestão e avaliação de risco a inundações. A existência dos diferentes agrupamentos sugere uma especialização dos pesquisadores sobre a avaliação de risco a inundações.

Discussão

Os impactos das mudanças climáticas, as mudanças no uso e cobertura da terra, a ocupação de áreas suscetíveis e/ou perigosas e as atividades humanas com planejamento ambiental inadequado

têm contribuído tendencialmente para o aumento da ocorrência de desastres associados às inundações nas últimas décadas (Roy et al., 2021). Por conseguinte, existe um crescente número de estudos sobre o risco a inundações, considerando as suas diferentes vertentes. Assim, são analisados os conceitos de risco a inundações, metodologia e dados usados e a tendência dos estudos entre 2010 e 2024.

O termo *risco* abrange múltiplas definições, o que requer precisão na busca para uma definição adequada e estabelecimento de indicadores para avaliação de risco à inundação (El Baida et al., 2024). Devido ao crescente número de autores que desenvolvem trabalhos nessa área, procurou-se sintetizar os conceitos de perigo, vulnerabilidade e risco a inundação (Quadro 1).

Quadro 1: Síntese dos conceitos de perigo, vulnerabilidade e risco a inundações.

	Conceito	Fonte	Descrição
Perigo	O mapa de perigo revela a probabilidade de um evento adverso ocorrer em um determinado local.	Dang et al. (2011); Löschner et al. (2017); Miguez et al. (2018); Oubennaceur et al. (2019); Rincón et al. (2018); Zou et al. (2013)	Perigo é a probabilidade de uma inundação ocorrer em um determinado local, estando normalmente associado a um período de recorrência ou tempo de retorno (TR). Alguns autores também consideram que o perigo é determinado pelo grau de exposição. Na análise do perigo às inundações

			deve-se considerar a profundidade das águas, a velocidade do fluxo, a duração do evento adverso e o tempo de concentração e de pico.
Vulnerabilidade	A vulnerabilidade está associada às fragilidades de uma comunidade ou sistema, e revela o potencial de uma comunidade sofrer danos ou perdas relacionados com a capacidade de antecipar, enfrentar, resistir e recuperar do impacto da ocorrência de um determinado perigo.	Hinojos et al. (2023); Löschner et al. (2017); Quevedo et al. (2019); Ramos et al. (2018); Tsakiris (2014); Zou et al. (2013)	A vulnerabilidade é uma medida que deve revelar os potenciais danos causados por um determinado evento ou atividade perigosa. Depende não só do grau de exposição como também da magnitude do fenômeno e da resiliência da comunidade em lidar com os danos causados pelo perigo.
Risco	O risco é definido como a probabilidade de ocorrência de danos humanos, materiais e/ou prejuízos em um determinado local. Normalmente, é resultado de uma relação entre o perigo e a vulnerabilidade.	Armenakis et al. (2017); Dang et al. (2011); Khan et al. (2011); Löschner et al. (2017); Miguez et al. (2018); Mojaddadi et al. (2017); Oubennaceur et al. (2019); Papaioannou (2018); Quevedo et al. (2019); Rincón et al. (2018); Tsakiris (2014); Zou et al. (2013)	Risco refere-se à quantificação dos danos e prejuízos causados pelo perigo para um elemento específico em risco num determinado tempo de retorno. No entanto, o mapa de risco resultante do simples cruzamento entre o perigo e a vulnerabilidade, dependendo do grau de detalhamento na análise, muitas vezes não revela a quantificação dos prejuízos esperados, possíveis danos e/ou mortes.

A avaliação do perigo e da vulnerabilidade a inundações constituem o problema básico na avaliação do risco à inundação (Figura 13). De acordo com Dang et al. (2011), o termo risco a inundação engloba a ameaça à vida e a integridade física, o desafio na evacuação de pessoas e bens

durante os eventos de inundação, o potencial dano as diversas infraestruturas, entre outros. A evolução da análise do risco a inundação vem se desenvolvendo paralelamente à avaliação dos danos causados aos elementos expostos ao risco.

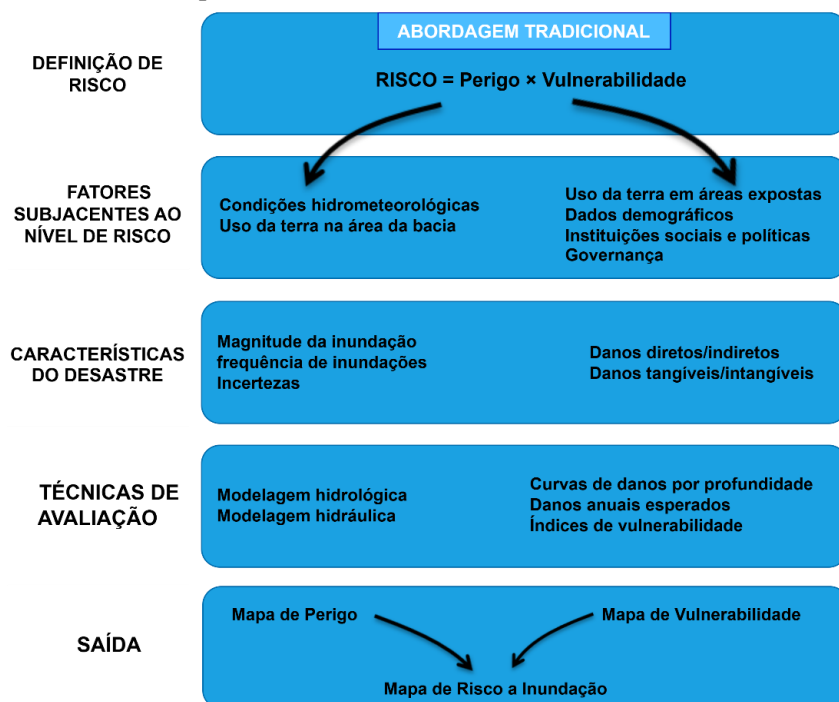


Figura 13: Fluxograma da avaliação do risco a inundação. Fonte: Vojinovic et al. (2016).

Apesar de vários autores considerarem apenas o perigo e a vulnerabilidade na avaliação de risco, nos últimos anos, esta abordagem passou a incluir a combinação de três componentes



Figura 14: Elementos de análise de risco.
Fonte: Dang et al. (2011)

A avaliação de risco à inundação é um instrumento para a compreensão e gestão de risco à inundação, podendo ser usada para a tomada de decisões e análise de políticas públicas. A avaliação de risco à inundação envolve a análise de perigo, exposição e vulnerabilidade (Vojinovic et al., 2016; Wang et al., 2021). Neste sentido, a avaliação de risco à inundação constitui a pedra angular das medidas de atenuação das inundações, ajudando aos decisores na tomada de medidas para proteção das comunidades expostas ao risco (Rincón et al., 2018).

A avaliação do risco à inundação envolve múltiplos fatores e métodos, que sintetizam os resultados da avaliação de cada índice individual num resultado único (Wu et al., 2015). Vários métodos foram agrupados em dois grandes grupos: os modelos empíricos e os modelos conceituais ou físicos. A vertente dos modelos empíricos se refere aos métodos que se baseiam na observação, séries históricas, inventários e/ou no conhecimento prévio do perigo e vulnerabilidades de um determinado local. São exemplos a análise multicritério/álgebra de mapas, o aprendizado de máquina/ *Machine Learning* (ML), método estatístico ou análise histórica, entre outros. Por outro lado, o modelo conceitual ou físico envolve diferentes métodos de modelagem hidrológica e hidrodinâmica para determinação do perigo hidrológico (Mudashiru et al., 2021; Nguyen et al., 2023).

De acordo com Wu et al. (2024), atualmente as metodologias para a avaliação de

principais (Figura 14): o perigo natural, o valor dos elementos expostos ao perigo e a vulnerabilidade dos elementos em risco (Dang et al., 2011).

risco à inundação são classificadas em cinco tipos: (1) análise histórica; (2) simulação de cenários; (3) Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica; (4) análise multicritério; (5) Aprendizado de Máquinas. Entretanto, Antwi-Agyakwa et al. (2023); Duan et al. (2022); Mudashiru et al. (2021) e Nguyen et al. (2023) só incluem SIG e SR como técnicas/ferramentas que ajudam na aplicação de outros métodos, como a análise multicritério, aprendizado de máquina, modelagem hidrológica, entre outros, não sendo por isso considerados métodos.

A análise das séries históricas ou análise estatística usa o registro histórico dos desastres para identificar os padrões de ocorrência e cálculo de tempos de retornos (TR) dos eventos. Apesar de aparentemente simples, o método depende dos registros históricos existentes para a confiabilidade dos resultados. Este método não ilustra as diferenças espaciais do risco à inundação. Assim, a combinação entre dados de séries históricas de desastres e simulação hidrológica pode auxiliar na avaliação mais pormenorizada da transformação espacial e dos danos causados pelas inundações (Li et al., 2024a; Wu et al., 2015).

O método de simulação de cenários ou modelagem hidrológica/hidráulica constrói modelos de simulação a inundações para avaliar a dinâmica, a extensão e os impactos das inundações sob diversas condições. Este método depende de dados geográficos para a simulação dos desastres sob diferentes condições de ocorrência (tempo de retorno, profundidade da inundação, entre outros) (Wu et al., 2024).

O método de MCDA (tomada de decisão com múltiplos critérios), associado à álgebra de mapas, é amplamente usado para a avaliação de risco a inundação por ser relativamente simples, necessitar de poucos dados e ser economicamente viável (Li et al., 2024a). Por meio de indicadores de avaliação de risco, o método considera todos os fatores que influenciam a ocorrência de inundações, atribuindo a devida importância a cada um deles. Nessa abordagem, grande parte dos dados é obtida por meio do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, implicando a utilização conjunta destes dois métodos (Li et al., 2024a; Natkaniec & Godyn, 2024).

Com o desenvolvimento das tecnologias digitais e computacionais, o ML vem sendo amplamente utilizado para avaliação de risco à inundação. Este método reconhece padrões através de processos iterativos em grande volume de

dados, podendo avaliar as áreas de risco à inundação, estabelecendo robustas relações empíricas entre as variáveis independentes e dependentes do modelo (Ma et al., 2021). Tendo em conta a natureza das inundações e sua variabilidade espacial, este método se utiliza das séries históricas para construir os modelos numéricos que representam a dinâmica das inundações (Wu et al., 2024).

Analisando os artigos mais citados, verificou-se que o uso dos métodos esteve relacionado principalmente ao objetivo da avaliação de risco, ou seja, se a análise se centra no perigo, exposição ou vulnerabilidade. Apesar do crescente uso do ML, o método mais usado foi a modelagem hidrológica/hidrodinâmica ou simulação de cenários (Figura 15).

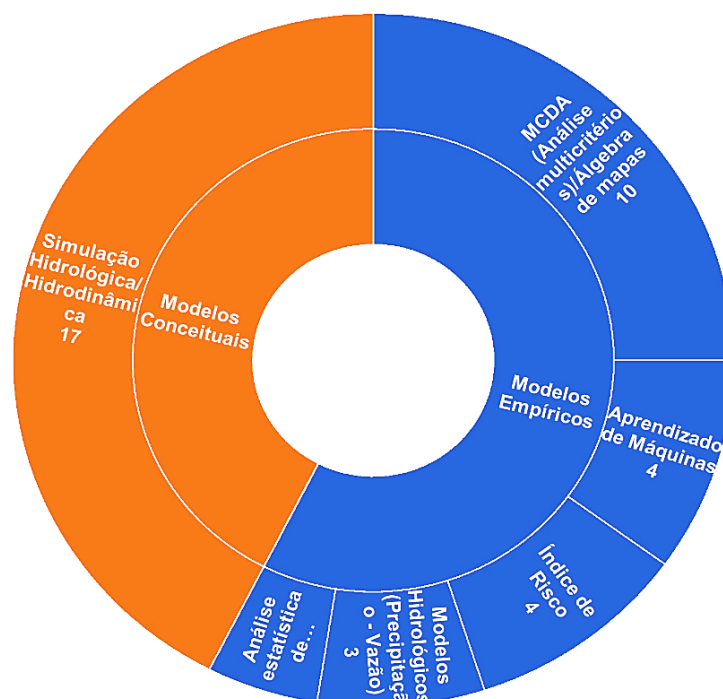


Figura 15: Proporção dos Métodos na avaliação do risco a inundações, entre 2010 e 2024.

Entre os principais métodos (Figura 15) a simulação de cenário ou modelagem hidrológica/hidráulica é a metodologia mais empregada na avaliação de risco a inundações. O HEC-RAS, o LISFLOOD e o SCS – CN (*Soil conservation Service – Curve Number*) são os modelos mais usados. Khanal et al. (2015), usaram o HEC-RAS para avaliação de risco à inundação por lagos glaciares no Nepal; Papaioannou (2018) usou o mesmo modelo para operacionalização da diretiva sobre inundação em áreas urbanas, Dottori et al. (2017) e Merkuryeva et al. (2015) utilizaram o LISFLOOD para monitorar e avaliar o risco a inundação.

O MCDA é utilizado para analisar os fatores que influenciam na ocorrência das inundações e fazer a combinação das informações inseridas no modelo. O MCDA mais utilizado é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Natkaniec & Godyń, 2024). Dang et al. (2011); Kougkoulos et al. (2018) e Wu et al. (2015) usaram o MCDA para avaliação do risco à inundação. Vários autores combinaram SIG – MCDA e ML – MCDA para avaliação do risco à inundação (Cabrera & Lee,

2020; Zou et al., 2013). A análise dos artigos mostra que os autores fazem o uso combinado deste método para obtenção de resultados melhores.

Os modelos de ML utilizados na avaliação do risco à inundação incluem as Redes Neurais Artificiais (RNA), *Support Vector Machine* (SVM), *Random Forests* e *XGBoost* (Wu et al., 2024). Entre os artigos mais citados, os modelos de ML foram pouco usados, apesar de tendências de crescimento na sua aplicação. Ma et al. (2021), usaram o algoritmo *XGBoost*, Vitry et al. (2019) usaram as Redes Neurais Convulsionais, e Cabrera e Lee (2020) combinaram o MDCA e Aprendizado de Máquinas para fazer a avaliação de risco a inundações.

O mapa de perigo pode ser obtido pelo uso dos dois modelos: conceituais e empíricos. Por outro lado, o mapa de vulnerabilidade só pode ser obtido a partir de métodos empíricos. Dessa forma, consideramos que o mapa de risco adota uma abordagem conceitual porque o perigo foi gerado por um modelo conceitual. No entanto, a avaliação do risco à inundação não é inteiramente conceitual,

pois envolve o cruzamento dos três elementos – perigo, vulnerabilidade e exposição – que são obtidos por modelos distintos.

A avaliação do risco a inundação (do perigo, exposição e vulnerabilidade) pode ser determinada por vários indicadores, dependendo dos dados disponíveis e da escala de avaliação necessária. Os estudos sobre avaliação do risco à inundação fazem o uso de vários indicadores, composto por dados demográficos, infraestruturas, físico-geográficos, entre outros, cuja seleção e

escolha dependem não só da sua acessibilidade e disponibilidade, do objetivo da investigação, mas também da metodologia aplicada (Chaudhary et al., 2024). Os dados mais usados nos artigos são os derivados do MDE (Modelo Digital de Elevação), precipitação, demografia, LULC (*Land Use Land Cover*), solos, entre outros. A seleção dos dados mais usados (Figura 16) foi feita com base no resultado da revisão dos artigos e trabalhos mais citados.

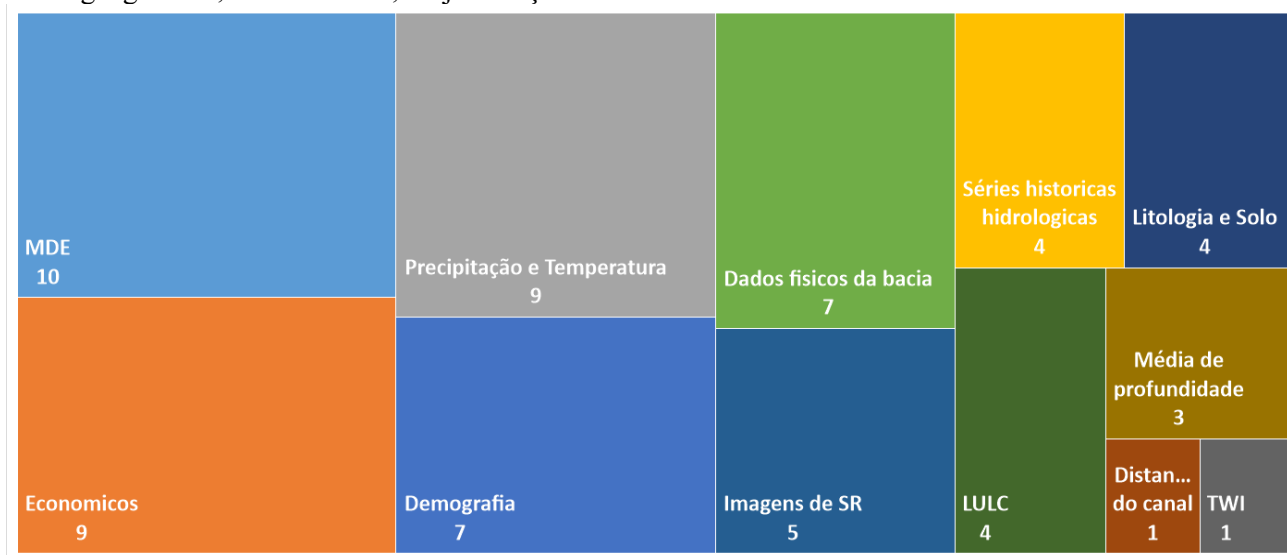


Figura 16: Principais dados usados na avaliação do risco à inundação

Os fatores hidrológicos, meteorológicos, demográficos, socioeconômicos e ambientais que influenciam no perigo, exposição e vulnerabilidade às inundações são usados para avaliação do risco a inundações. Os fatores físicos e ambientais costumam ser os mais importantes para determinar a susceptibilidade e o perigo às inundações, enquanto os demográficos e socioeconômicos são usados para a avaliação da vulnerabilidade (Chaudhary et al., 2024). No entanto, a qualidade da avaliação do risco depende dos dados, da disponibilidade, do objetivo da análise e do método aplicado. Independentemente do método escolhido, existem dados indispensáveis para a análise de risco à inundação como, por exemplo, o MDE e seus subprodutos e os dados hidrometeorológicos.

Mojaddadi et al. (2017) usaram dados físicos da bacia (área, fator de forma, perímetro, cumprimento, entre outros) para o treinamento e avaliação do risco; Ma et al. (2021) usaram dados hidrometeorológicos (precipitação, CN, densidade de drenagem, TWI – Índice Topográfico de Umidade), topográficos e demográficos para o treinamento e avaliação de risco com recurso ao ML.

No entanto, verifica-se que os dados demográficos e econômicos são comumente usados para os estudos relacionados à vulnerabilidade à inundação ou avaliação de risco à inundação relacionados a seguradoras. Hsu et al. (2011) usou dados de precipitação, demográficos e econômicos para a avaliação do risco à inundação para o sector de seguros. Wang et al. (2021) utilizaram dados econômicos como edifícios residenciais, escolas, fabricas, edifícios governamentais rede de transporte para analisar a exposição e vulnerabilidade face às inundações.

Torna-se claro que o objetivo, o método aplicado e a disponibilidade de dados são fundamentais para identificação dos dados necessários a usar na avaliação de risco à inundação.

A avaliação de risco torna-se importante para a implementação de planos de gerenciamento a inundações em uma determinada região (Mojaddadi et al., 2017). Assim, com a melhoria das técnicas e métodos verificam-se avanços na avaliação do risco à inundação na série temporal analisada.

De acordo com Tayyab et al. (2024), o SIG e o Sensoriamento Remoto contribuíram muito para a previsão e a avaliação de risco a inundações.

A resolução espacial e temporal dos dados de SR trouxe um incremento para a geração de mapas de susceptibilidade e perigo. A eficiência das tecnologias de SIG e SR trouxe uma “revolução” na gestão de inundações, possibilitando a previsão, preparação e avaliação de risco a inundação (Mojaddadi et al., 2017).

Com o desenvolvimento das tecnologias e dos sistemas de informação, pesquisadores têm usado o ML para a avaliação de risco. O recente interesse e uso do ML deve-se ao fato destes processarem grandes quantidades de dados e fazer relações complexas entre as inundações e os indicadores (Ma et al., 2021; Tayyab et al., 2024). Analisando a tendência dos tópicos (Figura 8), destaca-se que muitos pesquisadores vêm adotando este método pelas suas vantagens na avaliação do risco à inundação.

A ausência de dados hidrológicos, a qualidade e a complexidade computacional, a praticidade e os custos têm contribuído para o uso combinado das metodologias de avaliação de risco (El Baida et al., 2024). Assim, para ultrapassar as dificuldades e obter múltiplos resultados, vários autores fazem uso combinado entre ML e MCDA (Cabrera & Lee, 2020; Mojaddadi et al., 2017), SIG e MCDA (Tang et al., 2018; Zou et al., 2013), Modelagem hidrológica/hidráulica e MCDA (Vojinovic et al., 2016), entre outros.

Apesar da disponibilidade dos dados e métodos, a qualidade dos mapas de risco continua sendo uma questão de debate (Mojaddadi et al., 2017). Assim, os pesquisadores têm explorado essa combinação de métodos para aumentar a precisão e acurácia do resultado, em busca de um produto que revele com maior acurácia as áreas com maior potencial de ocorrência de danos humanos, materiais e prejuízos associados às inundações.

Entender as tendências, limitações ou lacunas, oportunidades e desafios nos estudos de gestão e avaliação de risco à inundação é importante na identificação das áreas onde faltam pesquisas e áreas que exigem mais esforços. Isto ajuda na melhoria dos resultados e implementação de políticas mais eficazes na gestão de risco a inundações (Awah et al., 2024).

A avaliação abrangente do risco envolve a análise dos pontos críticos com maior ou menor exposição, locais de maior ou menor vulnerabilidade e locais de maior ou menor perigo. O mapa de risco deveria revelar as áreas com maior potencial de ocorrência de danos, prejuízos e mortes em situações de desastre.

A análise da vulnerabilidade (como uma das etapas) deve ser feita de forma mais específica, tomando em consideração as consequências (econômico, social, ambiental). Segundo Griggs

(2023) cada uma das categorias (econômico, social, ambiental) possui as suas próprias vulnerabilidades e sofre danos e prejuízos de maneiras diferentes. Com isso, estas deveriam ser analisadas de forma específicas e de acordo com o perigo envolvido. Segundo Passuelo et al. (2024), para fazer a classificação da vulnerabilidade é necessário fazer o diagnóstico de como os diferentes elementos expostos ao perigo reagem aos impactos gerados pelos eventos extremos.

A forma como se caracteriza o perigo e a vulnerabilidade dependem do tipo de consequência que está sendo analisado (danos humanos, óbitos, danos econômicos, danos ambientais). Assim, por exemplo, o risco para mortes e da destruição de infraestruturas em função de enxurradas depende de fatores específicos, como a velocidade e profundidade das águas. No entanto, estes fatores têm sido negligenciados em mapas de risco, que apenas revelam a mancha de inundação ou os locais atingidos pelas inundações.

As características dos elementos da vulnerabilidade perdem importância dependendo do perigo analisado. Para inundações com o tempo de retorno de 5 ou 10 anos, por exemplo, a análise da vulnerabilidade com base na tipologia da construção e no tipo e material de construção pode ser útil, visto que as casas de alvenaria são mais resistentes que as de material precário e as casas de dois pisos permitem maior resiliência a população envolvida. Mas estas mesmas características podem perder a relevância quando a análise é feita para inundações extraordinárias ou com tempo de retorno superior a 100 anos.

Por outro, deve-se considerar as estruturas básicas para o funcionamento das cidades, vilas, estados/províncias e países (como escolas, vias de acesso, pontes, estações de tratamento de água, subestações de fornecimento de energia, aeroporto, hospitais, entre outros) na análise do risco. A destruição ou paralisação destas infraestruturas e/ou serviços essenciais gera um enorme prejuízo econômico ao Estado, logo, deveriam ser considerados locais de risco alto a região em que estas infraestruturas estiverem expostas ao risco.

É pressuposto que um mapa de risco apontasse os prejuízos esperados para melhor planificação e gestão dos riscos por parte das entidades. No entanto, vários autores analisam o risco à inundação com base no simples cruzamento entre a vulnerabilidade, exposição e o perigo. Chen et al. (2011) e Rincón et al. (2018) fizeram apenas o cruzamento da vulnerabilidade e perigo usando o MCDA para a avaliação do risco à inundação; Ma et al. (2021) fizeram o uso de aprendizado de máquina (*XGBoost*) para avaliação do risco de enxurradas usando dados físico-geográficos e

socioeconômicos e o cruzamento entre eles. Entretanto, as análises feitas constituem apenas cruzamento entre perigo, exposição e vulnerabilidade. Ao considerar apenas o simples cruzamento entre o perigo, exposição e vulnerabilidade independentes entre si e independentes do tipo de dano/perda (humano, material, prejuízo etc.), dificilmente esse mapa vai resultar na espacialização das perdas, danos e mortes esperadas.

Como forma de obter um resultado melhor, Ramos et al. (2018) propõem a análise da vulnerabilidade em momentos distintos, ou seja, na fase de resposta e na de recuperação. Para os autores, as variáveis que influenciam nestas duas fases são diferentes. Por exemplo, a condição financeira não tem significativo impacto durante a fase de resposta a um evento de inundação, mas influenciará no período de recuperação.

No entanto, os mapas de risco a inundação deveriam ser elaborados pensando em consequências específicas, e os mapas de perigo e de vulnerabilidade poderiam ser pensados para diferentes danos possíveis, tornando-os mais específicos e objetivos. Estes mapas tornar-se-iam mais úteis no processo de gestão e minimização dos impactos das inundações.

Conclusões

As inundações constituem um dos principais e mais destrutivos desastres naturais, causando mortes, destruição de infraestruturas sociais e econômicas. No contexto das mudanças climáticas, com o aumento da frequência e intensidade das inundações, estudos sobre essa temática revelam-se cada vez mais importantes. Assim, a avaliação do risco a inundação torna-se importante por permitir a análise, gestão e implementação de medidas de minimização, redução e ameaças dos eventos de inundações.

Destacamos um crescimento nos trabalhos sobre avaliação do risco à inundação, influenciado não só pelo desenvolvimento e aperfeiçoamento dos métodos, mas também pela disponibilidade e qualidade dos dados. Este artigo fez uma revisão bibliométrica da avaliação do risco a inundação entre 2010 – 2024, compilando as diversas informações existentes nesse campo de pesquisa por meio da ferramenta *Bibliometrix*.

Entre 2010 – 2024 foram produzidos 750 documentos relacionados a avaliação de risco a inundações, tendo uma taxa de crescimento anual de 9,31%. Apesar dessa taxa de crescimento anual, a produção dos artigos não foi linear, tendo anos com produções acima de 50 e outros anos com produções abaixo dos 50 artigos. No entanto, verifica-se nos últimos anos uma tendência dos

artigos abordarem tópicos relacionados com Aprendizado de Máquinas, Sensoriamento Remoto e SIG, AHP, modelagem hidrodinâmica, entre outros.

Os artigos analisados apresentam uma evolução no conceito de risco à inundação baseando-se em três fatores principais, perigo, exposição e vulnerabilidade, ou seja, é o resultado da combinação entre o perigo de ocorrência, o valor dos diferentes elementos expostos ao perigo e a vulnerabilidade das comunidades. Apesar desta evolução no conceito, a exposição nem sempre foi considerada, sendo que tradicionalmente eram considerados apenas o perigo e a vulnerabilidade.

Dos artigos analisados, verificam-se limitações em relação a avaliação do risco a inundações. O resultado do simples cruzamento entre a vulnerabilidade, perigo e exposição não mostra ou aborda os danos, perdas e mortes que podem resultar da ocorrência de uma inundação. Outra limitação está relacionada a análise da vulnerabilidade, sob o ponto de vista das condições socioeconômicas e das áreas expostas, portanto, e independentes do impacto do perigo. No entanto, a vulnerabilidade deveria ser analisada tomando em consideração a velocidade do fluxo, a profundidade da lâmina da água, a importância das infraestruturas, entre outros.

Contudo, a avaliação de risco pode ser feita usando várias metodologias, desde a análise das séries históricas ou análise estatística, a simulação de cenários ou modelagem hidrológica e hidrodinâmica, análise multicritério ou álgebra de mapas, e mais recentemente o uso de Aprendizado de Máquinas. Apesar desta variedade de métodos para avaliação do risco à inundação, a sua escolha depende do objetivo, da disponibilidade de dados e se é economicamente viável.

Apesar das vantagens apresentadas pela análise bibliométrica, a ferramenta *Bibliometrix* apresenta limitações relacionadas com os critérios de seleção dos artigos, o número de citações e o fator de impacto dos periódicos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico –CNPq (140754/2023-7; 408489/2021-9; 311009/2022-0).

Referências

- Antwi-Agyakwa, K. T., Afenyo, M. K., & Angnuureng, D. B. (2023). Know to Predict, Forecast to Warn: A Review of Flood Risk Prediction Tools. *Water*, 15, 427, 1 – 24, <https://doi.org/10.3390/w15030427>
- Ariaa, M., & Cuccurullo, C. (2017). *Bibliometrix: An R-Tool for Comprehensive Science*

- Mapping Analysis. *Journal of Informetrics* 11, 959–975, <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Armenakis, C., Du, E. X., Natesan, S., Persad, R. A., & Zhang, Y. (2017). Flood Risk Assessment in Urban Areas Based on Spatial Analytics and Social Factors. *Geosciences*, 7, 123, 1 – 15, <https://doi.org/10.3390/geosciences7040123>
- Awah, L. S., Belle, J. A., Nyam, Y. S., & Orimoloye, I. R. (2024). A Systematic Analysis of Systems Approach and Flood Risk Management Research: Trends, Gaps, and Opportunities. *International Journal of Disaster Risk Science*, 15:45–57, <https://doi.org/10.1007/s13753-024-00544-y>
- Boultif, M., Kheloufi, B., Hachemi, A., & Mimeche, L. (2024). GIS-Based Multi-criteria Decision-Making Techniques and Analytical Hierarchical Process for Flash Flood Risk Assessment Due to a Possible Dam Break in Urban Arid Environment: Case Study of Biskra City, Southern Algeria. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 52(5):1085–1097, <https://doi.org/10.1007/s12524-024-01860-y>
- Cabrera, J. S. & Lee, H. S. (2020). Flood Risk Assessment for Davao Oriental in the Philippines Using Geographic Information System – Based Multi-Criteria Analysis and the Maximum Entropy Model. *Journal Flood Risk Management*. 13: e12607, 1 – 17, <https://doi.org/10.1111/jfr3.12607>
- Chaudhary, U., Shah, M. A. R., Shakya, B. M., & Aryal, A. (2024). Flood Susceptibility and Risk Mapping of Kathmandu Valley Watershed, Nepal. *Sustainability*, 16, 7101, 1 – 28. <https://doi.org/10.3390/su16167101>
- Chen, Y., Yeh, C., & Yu, B. (2011). Integrated Application of the Analytic Hierarchy Process and the Geographic Information System for Flood Risk Assessment and Flood Plain Management in Taiwan. *Natural Hazards* 59, 1261–1276, <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9831-7>
- Dang, N. M., Babel, M. S., & Luong, H. T. (2011). Evaluation of Food Risk Parameters in the Day River Flood Diversion Area, Red River Delta, Vietnam. *Natural Hazards*, 56, 169–194, <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9558-x>
- Dottori, F., Kalas, M., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., & Feyen, L. Francesco et al. (2017). An operational procedure for Rapid flood risk assessment in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 1111–1126, <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1111-2017>
- Duan, L., Liu, C., Xu, H., Huali, P., Liu, H., Yan, X., Liu, T., Yang, Z., Liu, G., Dai, X., Zhang, D., Fu, X., Liu, X., & Lu, H. (2022). Susceptibility Assessment of Flash Floods: A Bibliometrics Analysis and Review. *Remote Sensing*, 14, 5432, 1 – 34, <https://doi.org/10.3390/rs14215432>
- El Baida, M., Boushaba, F., Chourak, M., Hosni, M., Sabar, H., & Zahaf, T. (2024). Flood Risk Decomposed: Optimized Machine Learning Hazard Mapping and Multi-Criteria Vulnerability Analysis in The City of Zaio, Morocco. *Journal of African Earth Sciences* 220, 105431, 1 – 13, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2024.105431>
- Grigg, N. S. (2023). Comprehensive Flood Risk Assessment: State of the Practice. *Hydrology*, 10, 46, <https://doi.org/10.3390/hydrology10020046>
- Hinojos, S., McPhillips, L., Stempel, P., & Grady, C. (2023). Social and Environmental Vulnerability to Flooding: Investigating Cross-Scale Hypotheses. *Applied Geography*, v. 157, 103017. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103017>
- Horvat, B., & Krvavica, N. (2023). Disaggregation of the Copernicus Land Use/Land Cover (LULC) and Population Density Data to Fit Mesoscale Flood Risk Assessment Requirements in Partially Urbanized Catchments in Croatia. *Land*, 12, 2014. <https://doi.org/10.3390/land12112014>
- Hsu, WK., Huang, PC., Chang, CC., Chen, CW., Hung, DM., & Chiang, L. C. (2011). An integrated flood risk assessment model for property insurance industry in Taiwan. *Natural Hazards* 58, 1295–1309, <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9732-9>
- Hu, H., Yu, M., Zhang, X., & Wang, Y. (2024). Performance Benchmarking on Several Regression Models Applied in Urban Flash Flood Risk Assessment. *Natural Hazards*, 120:3487–3504, <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06341-y>
- Ianda, T. F., Kalid, R. A., Pessoa, F. L. P., Medeiros, D. L., Santos, D. S., & Padula, A. D. (2024). A Systematic Review of Approaches Developed and Used for The Environmental Assessment of Biorefineries. *Journal of Cleaner Production* 476, 143679, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143679>
- Khan, B., Iqbal, M.J. & Yosufzai, M. A. K. (2011). Flood Risk Assessment of River Indus of

- Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 4, 115–122, <https://doi.org/10.1007/s12517-009-0110-9>
- Khanal, N. R., Mool, P. K., Shrestha, A. B., Rasul, G., Ghimire, P. K., Shrestha, R. B., & Joshi, S. P. (2015). A Comprehensive Approach and Methods for Glacial Lake Outburst Flood Risk Assessment, With Examples from Nepal and The Transboundary Area. *International Journal of Water Resources Development*, 31:2, 219-237, <https://doi.org/10.1080/07900627.2014.994116>
- Kouggoulos, I., Cook, S. J., Jomelli, V., Clarke, L., Symeonakis, E., Dortch, J. M., Edwards, L. A., & Merad, M. (2018). Use of Multi-Criteria Decision Analysis to Identify Potentially Dangerous Glacial Lakes. *Science of the Total Environment* 621, 1453–1466, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.083>
- Lazzarin, T., Vieira, D. P., Molinari, D., Ballio, F., & Defina, A. (2022). Flood Damage Functions Based on a Single Physics- And Data-Based Impact Parameter that Jointly Accounts for Water Depth and Velocity. *Journal of Hydrology*, 1 – 35, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127485>
- Li, C., Wang, Y., Guo, B., Lu, Y., & Sun, N. (2024a). Street Community-Level Urban Flood Risk Assessment Based on Numerical Simulation. *Sustainability*, 16, 6716, 1 – 32, <https://doi.org/10.3390/su16166716>
- Li, Y., Gao, J., Yin, J., Liu, L., Zhang, C., & Wu, S. (2024b). Flood Risk Assessment of Areas under Urbanization in Chongqing, China, by Integrating Multi-Models. *Remote Sensing*, 16, 219. <https://doi.org/10.3390/rs16020219>
- Löschner, L., Herrnegger, M., Apperl, B., Senoner, T., Seher, W., & Nachtnebel, H. P. (2017). Flood Risk, Climate Change and Settlement Development: A Micro-Scale Assessment of Austrian Municipalities. *Regional Environmental Change*, 17, 311–322, <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1009-0>
- Ma, M., Zhao, G., He, B., Li, Q., Dong, H., Wang, S., Wang, Z. (2021). Xgboost-Based Method for Flash Flood Risk Assessment. *Journal of Hydrology* 598, 126382, 1 – 12, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126382>
- Merkuryeva, G., Merkuryev, Y., Sokolov, B. V., Potryasaev, S., Zelentsov, V. A., & Lektuers, A. (2015). Advanced river flood monitoring, modelling and forecasting. *Journal of Computational Science* 10, 77–85, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jocs.2014.10.004>
- Miguez, M. G., Gregório, L. T., & Veról, A. P. (2018). Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos. 1 ed., Rio de Janeiro: LTC, Elsevier.
- Mojaddadi, H., Pradhan, B., Nampak, H., Ahmad, N., & Ghazali, A. H. bin. (2017). Ensemble Machine-Learning-Based Geospatial Approach for Flood Risk Assessment Using Multisensory Remote-Sensing Data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, VOL. 8, NO. 2, 1080–1102, <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2017.1294113>
- Mudashiru, R. B., Sabtu, N., Abustan, I., & Balogun, W. (2021). Flood hazard mapping methods: A review. *Journal of Hydrology* 603, 126846, 1 – 30, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126846>
- Mukhtar, M. A., Shangguan, D., Ding, Y., Anjum M. N., Banerjee, A., Butt, A. Q., Yadav, N., Li, D., Yang, Q., Khan, A. A., Muhammad, A., & He, B. B. (2024) (2024). Integrated Flood Risk Assessment in Hunza-Nagar, Pakistan: Unifying Big Climate Data Analytics and Multicriteria Decision-Making With GIS. *Frontiers in Environmental Science*, 12:1337081, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1337081>
- Natkaniec, W., & Godyń, I. (2024). Urban Flood Risk Assessment and Mapping Using GIS-DEMATEL Method: Case of the Serafa River Watershed, Poland. *Water*, 16, 2636, 1 – 23, <https://doi.org/10.3390/w16182636>
- Nguyen, T. L., Asahi, C., & Tran, T. A. (2023). A Systematic Review with Bibliometric Analysis of Different Approaches and Methodologies for Undertaking Flood Vulnerability Research. *Sustainable Water Resources Management*, 9:109, 1 – 20, <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00865-8>
- Oubennaceur, K., Chokmani, K., Nastev, M., Lhissou, R., & Alem, A. E. (2019). Flood Risk Mapping for Direct Damage to Residential Buildings in Quebec, Canada. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 33, 44–54, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.09.007>
- Owolabia, T. A. & Sajjad, M. (2023). A Global Outlook on Multi-Hazard Risk Analysis: A Systematic and Scientometric Review. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 92, 103727, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103727>

- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexiou, S. M., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P. (2018). An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungauged Urban Areas. *Hydrology*, 5, 24, 1 – 23, <https://doi.org/10.3390/hydrology5020024>
- Passuelo, A., Giazzon, E., Jalowitzki, I., Bresolin, J., & Silva Filho, L. C. P. (2024). Indicadores de Vulnerabilidade a Desastres como eixo Condutor de Resiliência nas Ações de Reconstrução. CEPEDRS – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Peng, L., & Li, Z. (2021). Ensemble Flood Risk Assessment in the Yangtze River Economic Belt under CMIP6 SSP-RCP Scenarios. *Sustainability*, 13, 12097. <https://doi.org/10.3390/su132112097>
- Prahani, B. K., Rizki, I. A., Suprpta, N., Irwanto, I., & Kurtulus, M. A. (2024). Mapping Research on Scientific Creativity: A Bibliometric Review of the Literature in the Last 20 Years. *Thinking Skills and Creativity* 52, 101495, 1 – 20, <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101495>
- Quevedo, R. P., Guasselli, L. A., Passuello, A. C., & Giazzon, E. M. A. (2019). Gestão de Risco de Desastres e Resiliência, Município de Encantado – RS. In: PRANDEL, Jéssica A. (Org.). *Redução de riscos de desastres: Métodos e Práticas*. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, E-book. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/432652/1/E-book-Reducao-de-Riscos-de-Desastres-Metodos-e-Praticas.pdf>
- Rahman, Md. M., Kamruzzaman, M., Deb, L., & Islam, H. M. T. (2025). Flood Mapping, Damage Assessment, and Susceptibility Zonation in Northeastern Bangladesh in 2022 using Geospatial Datasets. *Progress in Disaster Science*, v. 25, 100402, 1 – 18, <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100402>
- Ramos, P. de A. de S., Oliveira, G. G., Brito, M. M. de, & Filho, L. C. P. da S. (2018). Proposta Metodológica para o Mapeamento da Vulnerabilidade a Inundações. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, vol. 41 – 3, 281 – 291, ISSN 0101-9759/e-ISSN 1982-3908, http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_281_291
- Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood Risk Mapping Using GIS and Multi-Criteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study. *Geosciences*, 8, 275; 2 – 27, <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>
- Rodriguez-Soler, R., Uribe-Toril, J., & Valenciano, J. P. (2020). Worldwide Trends in the Scientific Production on Rural Depopulation, a Bibliometric Analysis Using Bibliometrix R-Tool. *Land Use Policy* 97, 104787, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104787>
- Romali, N. S., Yusop, Z., Sulaiman, M., & Ismail, Z. (2018). Flood Risk Assessment: A Review of Flood Damage Estimation Model for Malaysia. *Jurnal teknologi*, 80:3, 145–153, eISSN 2180–3722, <https://doi.org/10.11113/jt.v80.11189>
- Roy, S., Bose, A., & Chowdhury, I. R. (2021). Flood risk Assessment Using Geospatial Data and Multi-Criteria Decision Approach: a Study From Historically Active Flood-Prone Region of Himalayan Foothill, India. *Arabian Journal of Geosciences* 14: 999, <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07324-8>
- Tang, Z., Zhang, H., Yi, S., & Xiao, Y. (2018). Assessment of flood susceptible areas using spatially explicit, probabilistic multi-criteria decision analysis. *Journal of Hydrology* 558, 144–158, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.033>
- Tayyab, M., Hussain, M., Zhang, J., Ullah, S., Tong, Z., Rahman, Z. U., Al-Aizar, A. R., & Al-Shaibah, B. (2024). Leveraging GIS-Based AHP, Remote Sensing, and Machine Learning for Susceptibility Assessment of Different Flood Types in Peshawar, Pakistan. *Journal of Environmental Management* 371, 123094, 1 – 18, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123094>
- Tsakiris, G. (2014). Flood Risk Assessment: Concepts, Modelling, Applications. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 14, 1361–1369, <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1361-2014>
- Vegad, U., Pokhrel, Y., & Mishra, V. (2024). Flood Risk Assessment for Indian Sub-Continental River Basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28, 1107–1126, <https://doi.org/10.5194/hess-28-1107-2024>
- Vitry, M. M., Kramer, S., Wegner, J. D., and Leitão, J. P. (2019). Scalable Flood Level Trend Monitoring with Surveillance Cameras Using a Deep Convolutional Neural Network. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, 4621–4634, <https://doi.org/10.5194/hess-23-4621-2019>
- Vojinovic, Z., Hammond, M., Golub, D., Hirunsalee, S., Weesakul, S., Meesuk, V., Medina, N., Sanchez, A., Kumara, S., &

- Abbott, M. (2016). Holistic Approach to Flood Risk Assessment in Areas with Cultural Heritage: A Practical Application in Ayutthaya, Thailand. *Natural Hazards* 81, 589–616, <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2098-7>
- Wagner, C. S., Whetsell, T. A., & Leydesdorff, L. (2017). *Growth of International Collaboration in Science: Revisiting Six Specialties*. *Scientometrics* 110, 1633 – 1652, DOI 10.1007/s11192-016-2230-9
- Wang, H., Zhou, J., Tang, Y., Liu, Z., Kang, A., & Chen, B. (2021). Flood Economic Assessment of Structural Measure Based on Integrated Flood Risk Management: A Case Study in Beijing. *Journal of Environmental Management* 280, 111701, 1 – 9, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111701>
- Wei, W. & Jiang, Z. (2023). A Bibliometrix-Based Visualization Analysis of International Studies on Conversations of People with Aphasia: Present and Prospects. *Heliyon* 9, e16839, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16839>
- Wu, X., Zhu, H., Hu, L., Meng, J., & Sun, F. (2024). Analysis of Short-Term Heavy Rainfall-Based Urban Flood Disaster Risk Assessment Using Integrated Learning Approach. *Sustainability*, 16, 8249. <https://doi.org/10.3390/su16188249>
- Wu, Y., Zhong, P., Zhang, Y., Xu, B., Ma, B., & Yan, K. (2015). Integrated Flood Risk Assessment and Zonation Method: A Case Study in Huaihe River Basin, China. *Natural Hazards* 78, 635–651, <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1737-3>
- Xafoulis, N., Kontos, Y., Farsirotou, E., Kotsopoulos, S., Perifanos, K., Alamanis, N., Dedousis, D., & Katsifarakis, K. (2023). Evaluation of Various Resolution DEMs in Flood Risk Assessment and Practical Rules for Flood Mapping in Data-Scarce Geospatial Areas: A Case Study in Thessaly, Greece. *Hydrology*, 10, 91. <https://doi.org/10.3390/hydrology10040091>
- Zou, Q., Zhou, J., Zhou, C., Song, L., & Guo, J. (2013). Comprehensive Flood Risk Assessment Based on Set Pair Analysis-Variable Fuzzy Sets Model and Fuzzy AHP. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 27; 525–546 <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0598-5>