
Panorama dos estudos sobre vulnerabilidade

socioambiental aos eventos pluviométricos extremos

Overview of studies on socio-environmental vulnerability
to extreme rainfall events

Robinson Guaniere de Lima Barros

Antônio Marcos dos Santos

Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
Colegiado de Geografia, campus Petrolina, Brasil
robinson.barros@outlook.com antonio.santos@upe.br
Barros: <https://orcid.org/0000-0001-6698-8937>
Santos: <http://orcid.org/0000-0002-5968-9880>

Resumo

Nos últimos anos, o número de estudos sobre os desastres naturais hidrológicos cresceu consideravelmente no mundo todo, ampliando seus métodos e técnicas de análise. Neste contexto, o presente artigo teve como objetivo, por meio de revisão sistemática, analisar como os estudos sobre vulnerabilidade socioambiental a esses eventos (inundações, enchentes e alagamentos) vêm sendo desenvolvidos. Foram consultadas as bases bibliográficas *Web of Science*, *Scielo*, *Scopus*, *Science Direct*. Os resultados apontam que não há consenso científico quanto ao uso dos indicadores de vulnerabilidade social. O conceito de vulnerabilidade está presente nos estudos, o que não ocorre totalmente com a susceptibilidade ambiental. Mais de 50% dos estudos foram publicados nos últimos seis anos e concentrados em países com altos quantitativos de desastres pluviométricos, o que evidencia os alertas e a atenção destinada ao tema. Em relação aos métodos empregados, a modelagem matemática predomina, com destaques para os modelos determinísticos e amplo uso das geotecnologias.

PALAVRAS-CHAVE: desastres naturais; inundações; revisão de literatura; geotecnologias.

Abstract

In recent years, the number of studies on hydrological natural disasters has grown considerably worldwide, expanding their methods and analysis techniques. In this context, this article aims, through a systematic review, to analyze how studies on social and environmental vulnerability to these events (floods, floods and flooding) have been developed. The bibliographic databases *Web of Science*, *Scielo*, *Scopus*, *Science Direct* were consulted. The results show that there is no scientific consensus regarding the use of social vulnerability indicators. The concept of vulnerability is present in the studies, which is not entirely true of environmental susceptibility. More than 50% of the studies were published in the last six years and focused on countries with high amounts of rainfall disasters, which highlights the alerts and attention given to the topic. Regarding the methods used, mathematical modeling predominates, with emphasis on deterministic models and wide use of geotechnological ones.

KEYWORDS: natural disasters; floods; literature review; geotechnologies.

1. Introdução

Os desastres naturais pluviométricos nas cidades intensificaram nos últimos 20 anos (Jenkins *et al.*, 2018). A este aumento, Iqbal *et al.* (2018) apontam os reflexos do crescimento urbano sem planejamento de muitas cidades, associadas as falhas no gerenciamento e proteção das áreas de risco. Os prejuízos humanos e materiais são enormes e afetam, aproximadamente 25% da população mundial (Criado *et al.*, 2019).

No Brasil, entre os anos de 2000 a 2015, segundo estudos de Rasch (2016), 90% dos desastres naturais com maiores impactos foram proporcionados pelos eventos extremos de chuvas associados a má gestão dos órgãos públicos.

Para ciência, o desafio é sistematizar as metodologias que envolvem os estudos que identificam as áreas de riscos ou susceptíveis aos desastres pluviométricos (Provitolo, 2007; Grahn e Nyberg, 2017). Wu *et al.* (2021), ao proporem medidas para mitigação dos desastres, oriundos de enchentes provocadas por tempestades, em quatro cidades na China, acrescentam que para além dos estudos destinados à identificação de áreas de riscos, deve-se avaliar o grau de vulnerabilidade das populações inseridas nos ambientes susceptíveis é o maior desafio.

O desafio apontado por Wu *et al.* (2021) e corroborado por Garbutt *et al.* (2015), apontam que os estudos sobre vulnerabilidade das populações aos desastres naturais, em grande quantidade, são desconectados a estudos prévios que apontem para identificação das áreas de riscos ou susceptíveis aos eventos extremos de chuvas.

Outro eixo de discussão são as bases conceituais. É comum observar em variados estudos, que focam na temática dos desastres naturais, a confusão conceitual entre as definições de risco, susceptibilidade e vulnerabilidade aplicados aos citados estudos. Tal problema perpassa as áreas de conhecimento da base de desenvolvimento dos

estudos e semelhanças em algumas variáveis conceituais. Kumpulainen (2006), por exemplo, destaca a abrangência que o conceito de vulnerabilidade tem e suas várias dimensões. Ou seja, como são várias áreas científicas que desenvolvem estudos sobre o tema, é comum visões diferenciadas e pequenas confusões conceituais.

Diante do apresentado, é evidente a necessidade de uma revisão sistemática que busque levantar quais estruturas metodológicas vêm sendo desenvolvidas nos estudos que focam sobre as susceptibilidades ambientais aos desastres naturais pluviométricos e como estes estudos estão associados às pesquisas sobre a vulnerabilidade das populações urbanas aos citados desastres. Associa-se a esta necessidade, a importância de elucidar as diferenças conceituais entre risco, susceptibilidade e vulnerabilidade aplicados nos estudos voltados para os impactos dos eventos extremos pluviométricos em áreas urbanas.

Uma revisão sistemática pode ser entendida como um estudo cujo objetivo é responder questões específicas aplicando métodos explícitos e sistematizados com intuito de avaliar conceitos, métodos e/ou resultados de estudos sobre um tema específico (Martins e Junior, 2018).

Neste contexto, o presente artigo teve como objetivo, através de uma revisão sistemática, analisar como os estudos sobre vulnerabilidade socioambiental aos eventos extremos pluviométricos (inundações, enchentes e alagamentos) vêm sendo desenvolvidos, com destaque para o uso conceitual, distribuição temporal e espacial, uso das ferramentas geotecnológicas e a modelagem central empregada nos estudos.

2. Materiais e métodos

Visando alcançar os objetivos propostos procedeu-se a revisão sistemática da literatura; foram consultados artigos disponíveis nas bases de dados:

Web of Science; Scielo, Scopus e *Science Direct*. Plataformas que apresentaram maiores concentrações de artigos sobre a temática central deste estudo. Com intuito de abranger um maior número de estudos possíveis, não houve recorte temporal específico de início dos estudos, porém o ano de limite de análise foi até 2020.

A busca inicial teve interesse em selecionar estudos com foco na vulnerabilidade socioambiental das populações urbanas aos desastres naturais pluviométricos (inundações, enchentes e alagamentos), os quais apresentassem em sua construção um estudo prévio sobre a susceptibilidade ambiental das cidades aos citados desastres. Além dos requisitos anteriores, incluiu-se nos critérios de seleção o processamento e apresentação dos resultados a partir do uso das ferramentas geotecnológicas.

No campo de busca dos artigos, nas bases bibliográficas selecionadas, foi utilizada a combinação de palavras-chave em inglês: “*urban vulnerability*” (*flood* OR overflow OR inundation* OR flooding*). Os operadores “OR” (“ou”, em português), foram utilizados para relacionar as diversas terminologias, individualmente, com a vulnerabilidade social urbana.

Nesse sentido, os operadores possibilitaram encontrar quantidades maiores de estudos. Essa medida se justifica pela diversidade de sinônimos para categoria pesquisada. Por sua vez, os asteriscos (*) tiveram a função de buscar pelos termos no plural e palavras derivadas. Como resultado da busca foram localizados 321 estudos.

Também foram utilizados estudos da literatura cinza, ou seja, aqueles que não foram identificados nos buscadores apontados anteriormente, porém com igual relevância para o estudo. Nesse contexto, foram selecionados 30 estudos entre artigos científicos publicados em periódicos nacionais, dissertações, livros e teses que não apareceram em nenhuma base de dados consultada.

Após seleção dos estudos pelas palavras-chave, foi realizada uma triagem inicial para eliminação de materiais duplicados, ou seja, aqueles presentes em duas ou mais plataformas. Na segunda triagem foi realizada análise dos títulos e resumos dos artigos, sendo eliminado estudos que destoavam dos objetivos dessa pesquisa.

Para terceira triagem, os textos foram avaliados integralmente e submetidos aos critérios de inclusão demonstrado na TABELA 1. Foram selecionados para discussão então, os trabalhos que responderam ‘sim’ para todos os critérios.

TABELA 1. Critérios estabelecidos para inclusão dos estudos na última triagem.

FONTE: AUTORES, 2021

1° Critério	O estudo avalia/analisa a vulnerabilidade social das populações urbanas frente aos eventos pluviométricos extremos (inundações, enchentes e/ou alagamentos)?
2° Critério	O estudo emprega o cruzamento de informações relacionadas aos sistemas físicos-naturais com atributos de análise social para atingir a análise da vulnerabilidade?
3° Critério	O estudo emprega materiais e métodos cujos resultados são apresentados através de mapas e cartas?

Os seguintes critérios de inclusão selecionaram os trabalhos que, além de discutirem os desastres naturais pluviométricos de interesse, abordam a relação dos mesmos com a vulnerabilidade social urbana. Esses, por sua vez, também apontam metodologias de mapeamento que utilizem dessa relação para análise e mitigação dos desastres.

Também foram avaliados, entre os estudos selecionados na última triagem, as discussões conceituais entre vulnerabilidade, risco e/ou susceptibilidade das populações urbanas aos eventos pluviométricos extremos.

3. Resultados e discussão

Nas bases de dados consultadas foram identificados 43 estudos depositados na Scielo, 157 na *Science*

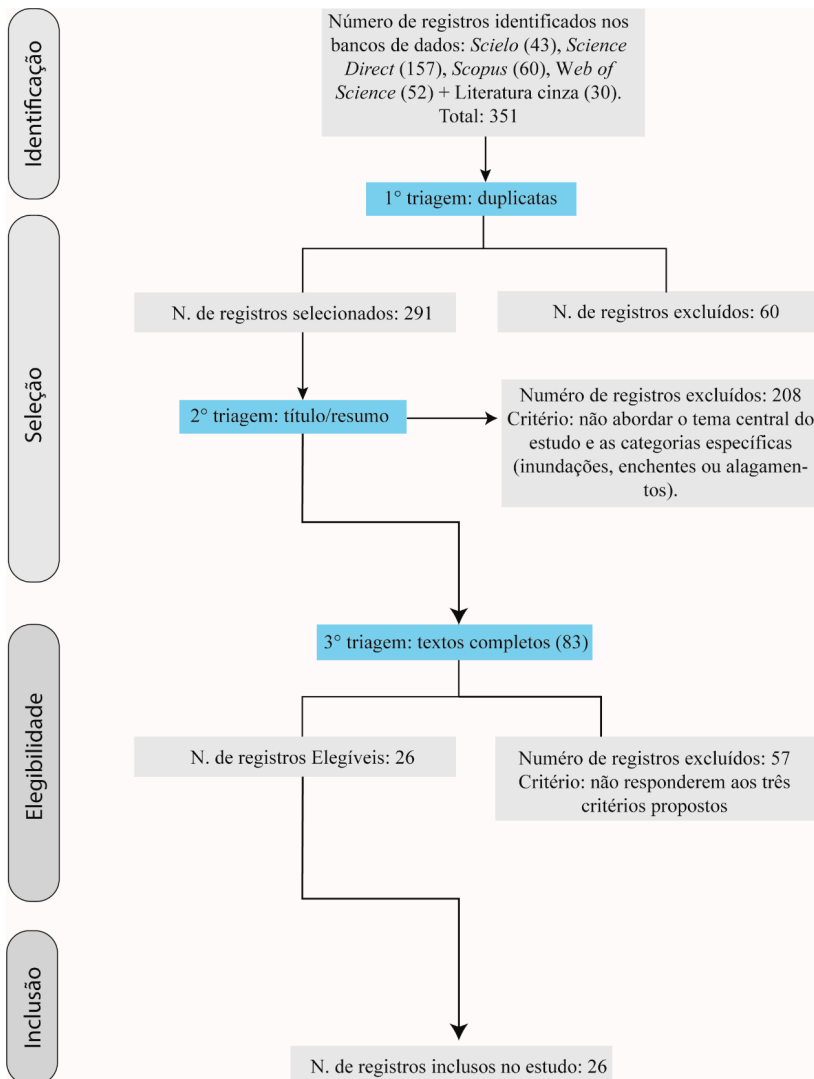
Direct, 60 na base da Scopus, 52 na *Web of Science* e 30 na literatura cinzenta, totalizando 351 estudos publicados entre os anos de 1997 a 2020. Após a primeira triagem 65 estudos foram excluídos, visto que eram repetidos, ou seja, presente em mais de uma base de dados (FIGURA 1).

Na segunda triagem, 218 estudos foram excluídos por não contemplarem os objetivos deste

estudo, ou seja, não apresentaram ligações entre a vulnerabilidade social das populações residentes nas áreas urbanas aos eventos pluviométricos extremos com focos nas inundações e/ou enchentes e/ou alagamentos. Na última triagem, apenas 24 estudos foram selecionados para avaliação aprofundada. Esses estudos responderam aos critérios apresentados na TABELA 1.

FIGURA 1. Dinâmica da triagem de análise dos estudos selecionados para revisão.

FONTE: AUTORES, 2021



3.1 Base conceitual nos estudos selecionados: vulnerabilidade, risco e susceptibilidade

Para análise dos conceitos foi adotada a definição de vulnerabilidade trabalhada por Freitas e Cunha (2013) e Santos (2015), em que a vulnerabilidade social é definida como um conjunto de características que expõem determinados grupos sociais ou indivíduo a um perigo de ordem socioambiental e, a capacidade destes em antecipar, enfrentar, resistir, lidar e se recuperar dos impactos negativos produzidos por determinada ação de perigo.

Definição muito próxima do Relatório sobre a Situação Social Mundial (ONU, 2003), em que a vulnerabilidade é apresentada como um estado de exposição alta a riscos em combinação com a capacidade reduzida em se proteger ou defender-se contra os riscos e lidar com suas consequências de caráter negativo.

Apreda *et al.* (2019) destacam que a vulnerabilidade é considerada como exposição de pessoas e ecossistemas a um determinado risco oriundo dos eventos extremos de origem natural. Já no artigo de Rasch (2016), ao desenvolver uma revisão de estudos sobre vulnerabilidade urbana a autora fundamenta sua posição ao considerar vulnerabilidade como exposição de um grupo ou comunidade a um perigo específico, ou seja, como lidar com os impactos oriundos dos riscos expostos.

Para Nur e Shrestha (2017), a vulnerabilidade é determinada por restrições socioeconômicas e institucionais de grupos sociais, os quais têm limitações para lidar com tensões e problemas externos. Riberio Neto *et al.* (2016) acrescenta que a vulnerabilidade representa o somatório entre susceptibilidade e a capacidade das populações lidarem com o problema em questão.

Observa-se que nos estudos de Rasch (2016), Riberio Neto *et al.* (2016) e Nur e Shrestha (2017), onde o conceito de vulnerabilidade social é mais trabalhado, as definições assemelham às apre-

sentadas pela ONU (2013). Freitas e Cunha (2013) e Santos (2015), discutidas anteriormente.

Nos estudos em que o conceito de vulnerabilidade social não é apresentado percebe-se que na estrutura metodológica os indicadores de vulnerabilidade apontam para elementos que apresentam exposição a riscos e a capacidade e resiliência das populações envolvidas nos estudos, culminando indiretamente com as definições apresentadas anteriormente. Neste contexto, a **TABELA 2** apresenta os indicadores empregados nos estudos de vulnerabilidade social de populações urbanas aos eventos pluviométricos extremos.

Observando a **TABELA 2**, percebe-se uma variação de indicadores de cunho social e alguns direcionados aos sistemas físicos naturais, ora presentes como indicadores de exposição ora como indicador de resiliência. Esta mescla deixa claro que não há um consenso na literatura selecionada que separe quais podem ser empregados no eixo de exposição e/ou no eixo de resiliência. Outros 10 estudos não deixaram claros o posicionamento dos indicadores de vulnerabilidade social entre expositores e resilientes, foram eles: Provitolo (2007); Dewan (2013); Lakhdar *et al.* (2015); Alves *et al.* (2016); Hernández-Uribe *et al.* (2017); Chávez-Cortés *et al.* (2017); Furlan e Murara (2018); Isahak *et al.* (2018); Chen *et al.* (2019); Criado *et al.* (2019).

O que poderia resolver a querela apresentada nos estudos seria o uso da concepção de susceptibilidade ambiental, a qual é definida como a probabilidade de um determinado fenômeno ocorrer independente de fatores de ordem social (Girão *et al.*, 2018), porém a sociedade é o elemento de interferência, a qual retarda ou acelera o processo [Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2014].

Nos estudos que envolvem vulnerabilidade social das populações urbanas aos eventos extremos pluviométricos, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014) recomenda que antes das

TABELA 2. Indicadores empregados nos estudos de vulnerabilidade social aplicados aos eventos pluviométricos extremos.

FONTE: AUTORES, 2020-2021

Estudos	Indicadores	
	Exposição a que?	Parâmetro utilizado para analisar a resiliência?
Apreda <i>et al.</i> (2019)	Densidade populacional; topografia do terreno; características dos solos; sistema de drenagem urbano	Situação econômica da população; estrutura das residências contra chuvas
Mansur <i>et al.</i> (2016)	Áreas sob riscos de inundações; infraestrutura urbana; serviço de saneamento básico; sistema de drenagem urbano; incidência de esgoto a céu aberto	Renda familiar; faixa etária da população; estrutura para mobilidade urbana
Sadeghi-Pouya <i>et al.</i> (2017)	Densidade populacional; características da rede de drenagem e das bacias hidrográficas; estrutura dos canais de drenagem artificializados; tempo de residência na área de estudo	Renda familiar
Müller <i>et al.</i> (2011)	Residências com construções precárias susceptíveis às inundações e enchentes	Quantidade de pessoas por residência; renda familiar; número de desempregados por residência
Chávez-Cortés <i>et al.</i> (2017)	Uso da terra; distanciamento residencial dos rios; características dos solos; estrutura geológica	Potencial para mobilidade das populações das áreas de risco
Garbutt <i>et al.</i> (2015)	Condições e características das habitações; quantitativo de pessoas por residência	Emprego e renda familiar; residentes com problemas de saúde; residentes idosos
Hossain e Meng, (2020)	Faixa etária da população; renda familiar; origem nacional da população; gênero; escolaridade; residências próprias e alugadas; quantitativo de desabrigados	-----
Souza <i>et al.</i> (2014)	Densidade populacional; acesso aos serviços básicos de saúde na área de estudo	Potencial para mobilidade das populações das áreas de risco
Chow <i>et al.</i> (2016)	Precipitação pluviométrica; infraestrutura urbana	Indicadores sociais de renda
Silva (2018)	Proximidade aos canais fluviais	Total de habitantes; renda familiar; escolaridade
Pérez-Morales <i>et al.</i> (2016)	Ausência de políticas de infraestrutura urbana para conter inundações e enchentes	Acesso as políticas de infraestrutura urbana para conter inundações e enchentes
Alcocer-Yamanaka (2016)	Proximidade às áreas de inundações	Faixa etária; renda da população; empregabilidade
Buffon <i>et al.</i> (2018)	Esgotamento sanitário; coleta de lixo; traçado do sistema viário; estrutura da pavimentação das ruas; uso e cobertura das terras; ocupação urbana em áreas de proteção permanente destinada às inundações	-----

avaliações dos parâmetros sociais, incluídos nos estudos de vulnerabilidade, seja desenvolvido um levantamento da susceptibilidade ambiental, para avaliar a propensão de ocorrência de inundações, alagamentos e enchentes. Recomendações semelhantes são encontradas nos estudos de Nur e Shrestha (2017) e Wu *et al.* (2021).

Analisando a visão dos autores, conhecer a área de estudo e a dinâmica dos sistemas físicos naturais colaboraria para o pesquisador e/ou o gestor público identificar quais áreas apresentam maiores ou menores propensão a ocorrência natural de determinado fenômeno, no caso aqui de estudo os relacionados aos eventos extremos

de chuvas (inundação, alagamento e enchentes). A partir daí, torna-se mais fácil mapear a vulnerabilidade social das populações presentes sobre as áreas com diferentes graus de susceptibilidade aos citados problemas ambientais.

A discussão conceitual não encerra por aqui. Nos levantamentos realizados alguns conceitos aparecem e, às vezes confundem com a ideia de susceptibilidade e até de vulnerabilidade. Um exemplo é o conceito de risco. Nos estudos de Dewan (2013), Lakhdar *et al.* (2015), Criado *et al.* (2019) o conceito de risco ambiental é apresentado como probabilidade de ocorrer um efeito adverso a partir de um processo sobre determinado elemento pressupondo sempre a perda.

O risco é a probabilidade de consequências que trazem prejuízo (Dewan, 2013) como mortes, modificações da estrutura econômica e ambiental decorrentes dos cruzamentos dos perigos de ordem humana e/ou natural (Lakhdar *et al.*, 2015).

Após análise do uso conceitual e os parâmetros empregados nos estudos sobre vulnerabilidade social das populações urbanas aos eventos extremos pluviométricos e dos conceitos de susceptibilidade e risco aplicado a temática discutida, o próximo tópico apresentará um levantamento sobre as metodologias cartográficas e a distribuição dos estudos no âmbito global.

3.2 Distribuição temporal, global, metodologia e uso das geotecnologias nos estudos de vulnerabilidade social aos eventos pluviométricos extremos

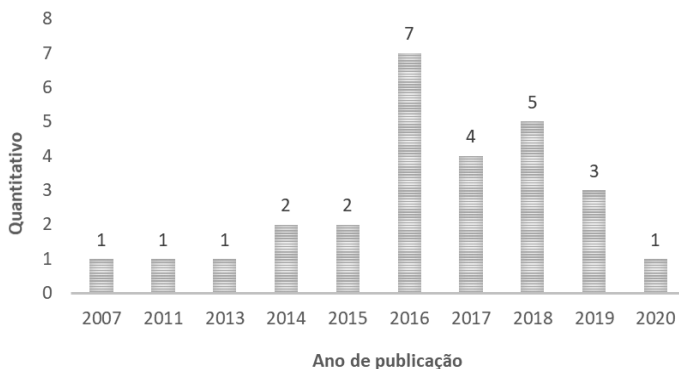
Os estudos selecionados nas bases indexadoras estão concentrados entre os anos de 2007 a 2020 (FIGURA 2). A série histórica de 13 anos poderia ser mais longa caso os artigos antigos e, em muitos dos casos disponibilizados no formato impresso, fossem integradas as bases.

Outro fator importante foi destacado por IBGE (2019). O órgão aponta que nas últimas décadas o acesso a informações geoespaciais gratuitas cresceram consideravelmente. Consequentemente, cresceram às ferramentas técnicas (*softwares*) para cruzamentos de informações tendo como resultado final mapas e cartas de vulnerabilidades das populações aos eventos extremos de chuvas. Acrescentam-se a ampliação de acessos às ferramentas do sensoriamento remoto, das bases dos censos populacionais e informações sociais em vários países do mundo.

Ao analisar a FIGURA 2, nota-se que mais da metade dos estudos selecionados foram publicados entre os anos de 2016 a 2020. De acordo com as percepções do relatório *International Strategy for Disaster Reduction* (ISDR, 2007) a tendência

FIGURA 2. Distribuição temporal dos estudos selecionados para análise.

FONTE: AUTORES, 2021



para as décadas de 2010 e 2020 era crescimento dos desastres naturais oriundos dos extremos pluviométricos e, conseqüentemente aumento da procura científica pelos estudos sobre a temática. Os resultados estão presentes na concentração de estudos nos últimos quatro anos.

Outro ponto de destaque é que 17 dos 21 estudos publicados entre 2016 a 2020 empregam no mapeamento/estudo da vulnerabilidade social a integração entre os elementos dos sistemas físicos naturais com os sociais, mesmo que não utilizem o conceito de susceptibilidade ambiental. Avaliações que respondem às preocupações levantadas por Garbutt, *et al.* (2015) de que há necessidade de interligar nos estudos as características dos ambientes físicos naturais com os padrões sociais das populações envolvidas.

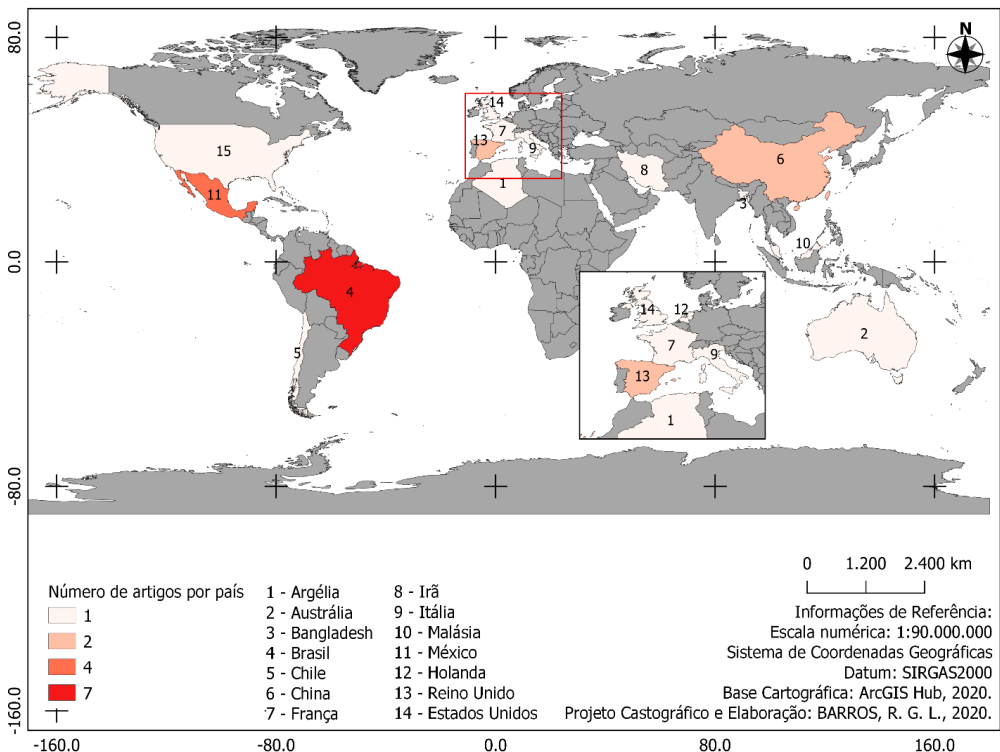
Nesta lista estão: Provitolo (2007); Alcocer-Yamanaka *et al.* (2016); Alves *et al.* (2016); Li *et al.* (2016); Pérez-Morales *et al.* (2016); Rasch (2016); Ribeiro Neto *et al.* (2016); Chávez-Cortés *et al.* (2017); Hernández-Uribe *et al.* (2017); Buffon *et al.* (2018); Franco *et al.* (2018); Furlan; e Murara (2018); Isahak *et al.* (2018); Apreda *et al.* (2019); Chen *et al.* (2019); Wu e Chiang (2018); Hossain e Meng (2020).

Quanto à distribuição espacial dos estudos sobre vulnerabilidade social aos eventos pluviométricos extremos (FIGURA 3) a maior parte dos estudos selecionados estão concentrados nos países fora do eixo das maiores economias globais.

Entre os países, o Brasil que apresentou 7 estudos e o México com 4 estudos lideram o número de pesquisas desenvolvidas, China e Espanha

FIGURA 3. Distribuição espacial dos estudos selecionados para análise.

FONTE: AUTORES, 2021



aparecem com dois estudos cada. A esse fator temos o crescimento das áreas urbanas de forma desordenada associada a presença das populações mais vulneráveis nos ambientes mais suscetíveis aos desastres pluviométricos (ISDR, 2007). Resultado, aumento no número de desastres e, conseqüentemente, maiores necessidades de estudos nestes países.

Quanto aos aportes metodológicos os modelos matemáticos estão presentes em todos os estudos selecionados para análise. Entre os modelos destacam-se, em quantidade maior, os determinísticos. Entre eles destacam-se: Alves *et al.* (2016); Chow *et al.* (2016); Apreda *et al.* (2019), os quais conseguiram deixar claro a importância do uso da modelagem determinista nos estudos que envolvem vulnerabilidade social aos eventos pluviométricos extremos.

Nos modelos determinísticos os resultados da modelagem são oriundos diretamente dos valores embutidos nas variáveis de entradas (Christofolletti, 2003), ou seja, os valores numéricos dos *inputs* determinam os valores que serão obtidos nos *outputs* (saída do modelo), sem necessidade, em muitos dos casos de calibração.

Analisados os estudos que utilizam a modelagem determinística para obter a vulnerabilidade social aos eventos extremos de chuvas, percebe-se que em todos os materiais os pesquisadores conhecem o potencial das variáveis envolvidas na estrutura modelada, ou seja, são variáveis oriundas de outros trabalhos e discussões que são adaptadas a realidade e ao objetivo de cada estudo. Situação que facilita a escolha deste tipo de modelo, os quais utilizam equações para mapeamento das vulnerabilidades.

Analisados os estudos que utilizam a modelagem determinística para obter a vulnerabilidade social aos eventos extremos de chuvas, percebe-se que em todos os materiais os pesquisadores conhecem o potencial das variáveis envolvidas na estrutura

modelada, ou seja, são variáveis oriundas de outros trabalhos e discussões que são adaptadas a realidade e ao objetivo de cada estudo. Situação que facilita a escolha deste tipo de modelo, os quais utilizam equações para mapeamento das vulnerabilidades.

Outro destaque é o emprego das análises multicritério presente em vários estudos. Entre os trabalhos analisados os estudos desenvolvidos por Mansur (2016) e Chávez-Cortés *et al.* (2017), merecem destaque. Isto porque, o uso das análises multicritério ocorre devido ao grande quantitativo de variáveis utilizadas no mapeamento da vulnerabilidade proporcionando avaliar, previamente quais variáveis exercem maiores influências sobre o resultado da vulnerabilidade.

Zilden *et al.* (2017) apontam que nos últimos anos os estudos que focam sobre os riscos e as vulnerabilidades sociais tendem a expandir e novas variáveis de ordem social sobre os espaços físicos urbanos são discutidas e colocadas à disposição de novos estudos. Com isto, a tendência é que o método de estudo empregue mecanismos de revisão, seleção e avaliação do grau de influência das variáveis. Daí, deduz-se que todos os estudos que utilizam a análise multicritério no mapeamento da vulnerabilidade social aos eventos extremos de chuvas estarem concentrados nos últimos cinco anos (entre 2016 a 2020).

Em relação a produção cartográfica todos os estudos empregam o uso das ferramentas geotecnologias com diferentes intensidades. Em relação a origem das informações mapeadas a maior parte dos estudos empregam bases cartográficas secundárias para cruzamento das informações. Porém, cidades onde os levantamentos cartográficos não estão disponíveis ou parcialmente disponíveis o uso de dados primários foram empregados.

4. Considerações finais

Os conceitos de vulnerabilidade apresentados direta e indiretamente nos estudos selecionados são convergentes. Porém, nem todos estudos empregam a ideia de susceptibilidade ambiental para alcançar a vulnerabilidade social. Aliás, este último conceito é bastante divergente nos levantamentos e, em alguns estudos a ideia de risco surge e desenvolvem pequenas confusões. Ao final todos os estudos conseguem mapear a vulnerabilidade a partir do cruzamento de informações sociais e da estrutura dos sistemas físicos naturais das áreas urbanas onde os trabalhos foram desenvolvidos.

Quanto a distribuição temporal dos estudos, observou-se que a maioria foram publicados a partir do ano de 2016, período em que aumentaram os alertas institucionais e, a procura científica para entender e criar mecanismo de soluções para os impactos decorrentes dos destrates naturais pluviométricos.

Em relação a distribuição espacial dos estudos analisados, países como Brasil, México e China lideram a produção científica devido aos altos números de desastres, assim como a ampliação das concentrações das populações vulneráveis.

Quanto as estruturas metodológicas podem se destacar o uso dos modelos determinísticos, análises multicritério e o uso das geotecnologias proporcionadas pelo crescimento do acesso de informações censitárias e cartográficas.

5. Agradecimentos

Agradecemos aos colegas de laboratório do Grupo de Trabalho em Monitoramento Ambiental, Geotecnologia e Ensino (GTMAGEO) por estarem sempre dispostos a colaborar.

Ressaltamos que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. Referências citadas

- ALCOCER-YAMANAKA, V. H.; RODRÍGUEZ-VARELA, J. M.; BOURGUETT-ORTIZ, V. J.; LLAGUNO-GUILBERTO, O. J. y P. M. ALBORNOZ-GÓNGORA. 2016. "Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas". *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5): 33-55.
- ALVES, A.; SANCHEZ, A.; GERSONIUS, B. & Z. VOJINOVIC. 2016. "A model-based framework for selection and development of multi-functional and adaptive strategies to cope with urban floods". *Procedia Engineering*, 154: 877-884.
- APREDA, C.; D'AMBROSIO, V. & F. DI MARTINO. 2019. "A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems". *Environmental Science & Policy*, 93: 11-26.
- BUFFON, E.; SAMPAIO, T. e O. PAZ. 2018. "O. Veículo aéreo não tripulado (VANT)-aplicação na análise de inundações em áreas urbanas". *GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, (13): 85-108.
- CHÁVEZ-CORTÉS, M. M.; BINNQUÏST-CERVANTES, G. y A. C. SALAS-FLORES. 2017. "Evaluación multicriterio de la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones en la subcuena río Atoyac-Oaxaca de Juárez". *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10): 97-109.
- CHEN, W.; WANG, X.; DENG, S.; LIU, C.; XIE, H. & Y. ZHU. 2019. "Integrated urban flood vulnerability assessment using local spatial dependence-based probabilistic approach". *Journal of Hydrology*, 575: 454-469.

- CHOW, W. T. L.; CHEONG, B. D. & B. H. HO. 2016. "A multimethod approach towards assessing urban flood patterns and its associated vulnerabilities in Singapore". *Advances in Meteorology*, 2016: 11.
- CHRISTOFOLETTI, A. 2003. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Edgard Blucher. São Paulo, Brasil.
- CRiado, M.; MARTÍNEZ-GRAÑA, A.; SAN ROMÁN, J. S. & F. SANTOS-FRANCÉS. 2019. "Flood risk evaluation in urban spaces: The study case of Tormes River (Salamanca, Spain)". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1): 5.
- DEWAN, A. 2013. "Floods in a megacity: geospatial techniques in assessing hazards, risk and vulnerability". Springer Science & Business Media. Dordrecht, Holanda.
- FRANCO, V. S.; SOUZA, & A. LIMA. 2018. "Floods and social vulnerability: study on the Xingu river in Altamira/PA". *Ambiente & Sociedade*, 21.
- FREITAS, M. I. C. e L. CUNHA. 2013. "Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil". *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 5(1): 15-31.
- FURLAN, A. e P. MURARA. 2018. "Análise de risco a partir do setor censitário na área urbana de Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil". *GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, (13): 177.
- GARBUTT, K.; ELLUL, C. & T. FUJIYAMA. 2015. "Mapping social vulnerability to flood hazard in Norfolk, England". *Environmental Hazards*, 14(2): 156-186.
- GIRÃO, Í. R. F.; RABELO, D. R. e M. E. ZANELLA. 2018. "Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade". *Revista de Geociências do Nordeste*, 4: 71-83.
- GRAHN, T. & L. NYBERG. 2017. "Assessment of pluvial flood exposure and vulnerability of residential areas". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21: 367-375.
- HERNÁNDEZ-URIBE, R. E.; BARRIOS-PIÑA, H. y A. I. RAMÍREZ. 2017. "Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac". *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3): 5-25.
- HOSSAIN, M. K. & Q. MENG. 2020. "A thematic mapping method to assess and analyze potential urban hazards and risks caused by flooding". *Computers, Environment and Urban Systems*, 79: 1-19.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2019. *Acesso e uso de dados geoespaciais*. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101675.pdf>. [Consulta: agosto, 2021].
- INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (ISDR)-UN. 2007. *Annual Report 2007*. Disponível em: https://www.preventionweb.net/files/7801_ISDRAnnual-Report2007LR1.pdf. [Consulta: agosto, 2021].
- IQBAL, M.; A. F.; KHURSHEED, M. & S. SALEEM. 2018. "Analysis of role of media in disaster reporting in Pakistan". *European Scientific Journal*, special edition, (1): 570-595.
- ISAHAK, A.; REZA, M. I.; SIWAR, C.; ISMAIL, S. M.; SULAIMAN, N.; HANAFAI, Z. & M. R. TAHA. 2018. "Delineating risk zones and evaluation of shelter centres for flood disaster management along the Pahang River Basin, Malaysia". *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 10(1): 1-7.
- JENKINS, K.; HALL, J.; GLENIS, V. & C. KILSBY. 2018. "A probabilistic analysis of surface water flood risk in London". *Risk Analysis*, 38(6): 1.169-1.182.
- KUMPULAINEN, S. 2006. "Vulnerability concepts in hazard and risk assessment". *Special paper-Geological Survey of Finland*, 42: 65-74.

- LAKHDAR, B.; TAYEB, S. & G. BOUDERSA. 2015. "Vulnerability's evaluation front of flood risk in urban space precaution as a principle of sustainable development. Case of Ghardaia Town". *Energy Procedia*, 74: 1.000-1.006.
- LI, Y.; ZHANG, X.; ZHAO, X.; MA, S.; CAO, H. & J. CAO. 2016. "Assessing spatial vulnerability from rapid urbanization to inform coastal urban regional planning". *Ocean & Coastal Management*, 123: 53-65.
- MANSUR, A. V.; BRONDÍZIO, E. S.; ROY, S.; HETRICK, S.; VOGT, N. D. & A. NEWTON. 2016. "An assessment of urban vulnerability in the Amazon Delta and Estuary: a multi-criterion index of flood exposure, socio-economic conditions and infrastructure". *Sustainability Science*, 11(4): 625-643.
- MARTINS, T. S. e G. N. R. C. JUNIOR. 2018. "Avaliação de impacto ambiental: Uma revisão sistemática sob a ótica metodológica". *E&S Engineering and Science*, 7(2): 29-41.
- MÜLLER, A.; REITER, J. & U. WEILAND. 2011. "Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach—a case study for Santiago de Chile". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(8): 2.107-2.123.
- NUR, I. & K. K. SHRESTHA. 2017. "An integrative perspective on community vulnerability to flooding in cities of developing countries". *Procedia Engineering*, 198: 958-967.
- ONU. 2003. *Relatório sobre a situação Social Mundial*. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. Disponível em: <http://www.un.org/esa/socdev/rwss/docs/2003/fullreport.pdf>. [Consulta: agosto, 2021].
- PÉREZ-MORALES, A.; GIL-GUIRADO, S. y J. OLCINA. 2016. "La información catastral como herramienta para el análisis de la exposición al peligro de inundaciones en el litoral mediterráneo español". *EURE (Santiago)*, 42(127): 231-256.
- PROVITOLLO, D. 2007. "Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain: une nouvelle démarche géographique". *Annales de Géographie*, Armand Colin. 623(1): 23-40.
- RASCH, R. J. 2016. "Assessing urban vulnerability to flood hazard in Brazilian municipalities. Environment and Urbanization". *SAGE Publications*, 28(1): 145-168.
- RIBEIRO NETO, A.; BATISTA, L. & R. COUTINHO. 2016. "Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas: municipality of ipojuca/pe". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(2): 377-390.
- SADEGHI-POUYA, A.; NOURI, J.; MANSOURI, N. & A. KIA-LASHAKI. 2017. "An indexing approach to assess flood vulnerability in the western coastal cities of Mazandaran, Iran". *International Journal Of Disaster Risk Reduction*, 22: 304-316.
- SANTOS, A. M. 2015. *Vulnerabilidade hidrológica das populações residentes na bacia hidrográfica do rio Una (Pernambuco) frente aos cenários de mudanças climáticas*. Departamento de Ciências Geográficas. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Brasil. Tese de Doutorado.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). 2014. "Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000". Disponível em https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16588/1/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf. [Consulta: julho, 2021].
- SILVA, N. T. 2018. *As chuvas no município de João Pessoa: impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental*. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Brasil. Dissertação de Mestrado.

- SOUZA, W. M.; DE AZEVEDO, P. V.; DE ASSIS, J. M. D. O. & M. D. C. M. SOBRAL. 2014. "Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE". *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, (34): 79-94.
- WU, C. & Y. CHIANG. 2018. "A geodesign framework procedure for developing flood resilient city". *Habitat International*, 75: 78-89.
- WU, M.; WU, Z.; GE, W.; WANG, H.; SHEN, Y. & M. JIANG. 2021. "Identification of sensitivity indicators of urban rainstorm flood disasters: a case study in china". *Journal Of Hydrology*, 599: 1-9.

Local e data de finalização do artigo:
Petrolina (Pernambuco), Brasil; agosto, 2021
Revisão do artigo: novembro, 2021