

PANORAMA DE ESTUDOS SOBRE ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ÀS INUNDAÇÕES NO BRASIL ATRAVÉS DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Luana Lavagnoli Moreira

Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade de Federal do Rio Grande do Sul
lavagnoliluana@gmail.com

Masato Kobiyama

Professor Titular do Instituto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
masato.kobiyama@ufrgs.br

RESUMO

Esse artigo traz uma revisão da literatura brasileira sobre índices de vulnerabilidade às inundações, onde foram analisados 21 artigos publicados entre os anos de 2006 até julho de 2019. Verifica-se que 85% dos estudos ocorreram após o ano de 2015, tema recente no país. A escala de aplicação mais utilizada foi a de setor censitário com base em indicadores obtidos pelo censo de 2010 realizado pelo IBGE e a maioria dos estudos focou em indicadores relacionados à etapa pré-evento de inundação. Muitos artigos criaram índices de risco por meio da união entre o mapeamento de perigo às inundações e do índice de vulnerabilidade. Em termos das etapas para a construção do índice de vulnerabilidade, a maioria aplicou para normalização o método mínimo-máximo, sendo que foram atribuídos pesos iguais aos indicadores e agregados de forma linear. Os indicadores mais utilizados na composição do índice foram: renda per capita, domicílios com banheiro sem esgotamento sanitário, densidade demográfica, domicílios com ou sem abastecimento de água na rede, e domicílios particulares precários. Em contrapartida vale destacar as limitações na criação de índices, devido à ausência de análise de sensibilidade e incerteza em todos os estudos e de validação em 95% dos casos.

Palavras-chave: Indicador composto. Perigo. Risco.

OVERVIEW OF FLOOD VULNERABILITY INDEX STUDIES IN BRAZIL THROUGH LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

This paper provides a Brazilian panorama of flood vulnerability indexes studies where 21 papers published from 2006 to July 2019 were analyzed. This research showed that 85% of these studies were published after 2015, therefore this theme is recent. The most-studied spatial scale is the census sector based on indicators obtained from 2010 census by IBGE and most studies focused on flood pre-event indicators. Additionally, many papers created risk indices by combining flood hazard map and vulnerability index. In terms of stages for constructing the flood vulnerability index, the most applied methods are min-max for normalization, equal weighting and linear aggregation. The most-commonly used indicators are: per capita income, households with bathroom without sewage, population density, households with or without water supply and precarious households. In contrast, the gaps in the index creation are the absence of sensitivity and uncertainty analysis in all studies and validation in 95%.

Keywords: Composite indicator. Hazard. Risk.

INTRODUÇÃO

A inundação é o desastre hidrológico mais frequente no mundo. De acordo com o *Emergency Events Database (EM-DAT)* nos últimos 10 anos (2009-2019) ocorreram cerca de 50 mil mortes no mundo devido às inundações. No Brasil, das pessoas mortas por todos os tipos de desastres naturais, cerca de 72% são devido às inundações, em comparação com outros tipos de eventos, como estiagem e seca, vendavais, granizo, movimento de massa, erosão, incêndio, tornado e alagamentos (CEPED-UFSC, 2013).

O aumento do número de desastres associados às inundações é consequência de vários fatores, como o crescimento populacional e devido às mudanças climáticas (IPCC, 2007). Dessa forma, se faz necessária a gestão do risco às inundações para fins de controle e mitigação, sendo um aliado para a tomada de decisões.

O risco é definido como a relação entre o perigo e a vulnerabilidade (HAHN; VILLAGRÁN DE LEÓN; HIDAJAT, 2003; WISNER et al., 2004; DILLEY et al., 2005). O perigo constitui um processo ou fenômeno natural podendo constituir um evento danoso que pode causar perdas de vidas, impactos na saúde, prejuízos em propriedades, distúrbios sociais e econômicos ou degradação ambiental (UNISDR, 2016).

Por outro lado, a vulnerabilidade ainda não apresenta um conceito definido pelos pesquisadores. As diferentes noções desse conceito podem ser elencadas nos seguintes aspectos: (i) uma condição particular de um sistema antes de ocorrer um desastre, relacionada à critérios como susceptibilidade, limitações, incapacidades ou deficiências (OEP-EOP, 1972; PIJAWKA; FOOTE; SOESILO, 1985; KATES, 1985; LIVERMAN, 1990; DOW, 1992; WATTS e BOHLE, 1993; ADGER, 1996; CLARK et al., 1998; KELLY e ADGER, 2000; IPCC, 2001; ALCÁNTARA-AYALA, 2002; UNEP, 2002; PELLING, 2003; CARDONA, 2003; WISNER et al., 2004; BALICA; DOUBEN; WRIGHT, 2009; UNISDR, 2016); (ii) consequência direta da exposição a um determinado perigo (DOWNING, 1991; BOHLE; DOWNING; MICHAEL, 1994; ALEXANDER, 2000; PIZARRO, 2001); e (iii) probabilidade resultante de um sistema quando exposto a um evento externo associado a um perigo, expresso em termos de potencial de perdas como fatalidades ou perdas econômicas (SUSMAN e O'KEEFE, 1984; MITCHEL, 1989; CUTTER, 1993; VILLAGRAN DE LEON, 2006).

Diferentes métodos para a determinação e análise de perigo, risco e vulnerabilidade às inundações têm evoluído ao longo das últimas décadas, podendo ser classificados em duas perspectivas (BALICA et al., 2013): (i) abordagem determinística baseada em modelagem física para estimar a perigo de inundações e a probabilidade de um evento juntamente com avaliação de danos a fim de obter análise do risco à inundações de uma área; e (ii) abordagem paramétrica que se baseia na estimativa da vulnerabilidade de um sistema através de indicadores e índices.

Há uma série de definições de indicadores e índices na literatura científica, cujos conceitos ambíguos e contraditórios resultam de sua generalização (BIRKMANN, 2006). Há uma definição geral, porém compreensiva criada por Saisana e Tarantola (2002), onde os indicadores consistem em várias partes de dados capazes de sintetizar as características de um sistema, sendo que a agregação desses indicadores através de uma combinação matemática é chamada de índice ou indicador composto.

Nesse contexto, o presente estudo traz uma revisão de literatura brasileira a respeito de índices de vulnerabilidade às inundações, com enfoque nas seguintes perspectivas: escala espacial dos indicadores; estudos voltados para pré e pós-evento de inundação; análise de risco; métodos mais empregados em cada etapa de criação do índice; e os indicadores mais utilizados.

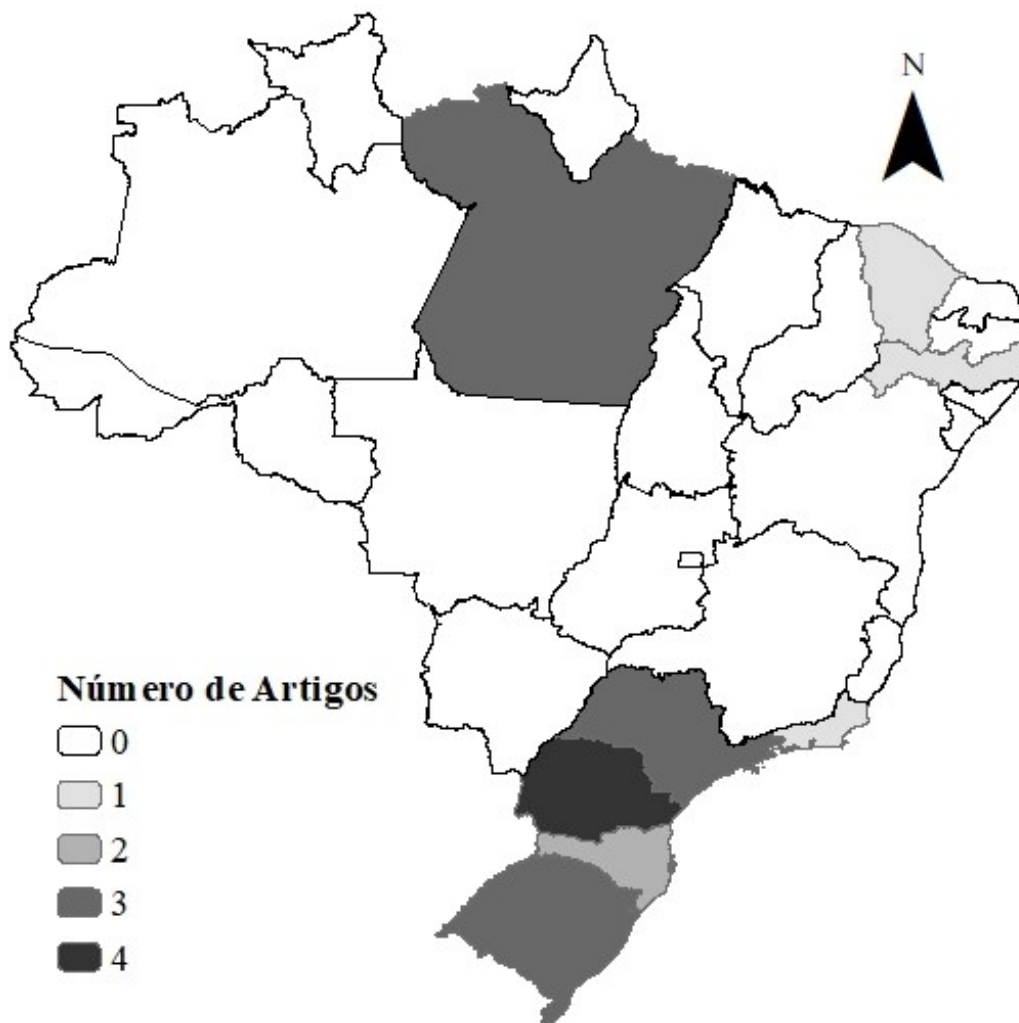
METODOLOGIA

Para construir o panorama da aplicação de índice de vulnerabilidade às inundações no Brasil, foi realizada uma revisão de literatura em julho de 2019 baseada em artigos científicos disponíveis nas plataformas *Web of Science* e *Google Acadêmico*, por meio dos seguintes termos de pesquisa:

- em inglês [“flood” OR “flooding”] AND (“index” OR “composite indicator”) AND “vulnerability” NOT “coast” AND Brazil];
- em português contendo as palavras-chave “inundações”, “inundação”, “índice”, “vulnerabilidade”, excluindo a palavra “costa”.

Dessa forma, foram encontrados 21 artigos (7 da *Web of Science*, 12 do *Google Acadêmico* e 3 a partir das citações desses artigos). A lista completa de artigos, incluindo suas características, encontra-se na Tabela 1. A maioria dos estudos foram aplicados na região Sul do país (42,9%), em todos os estados, seguido dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo na região Sudeste (19,0%), 1 estudo no Ceará e 1 em Pernambuco na região Nordeste, 3 estudos no Pará na região Norte (Figura 1), e 3 aplicados em nível nacional.

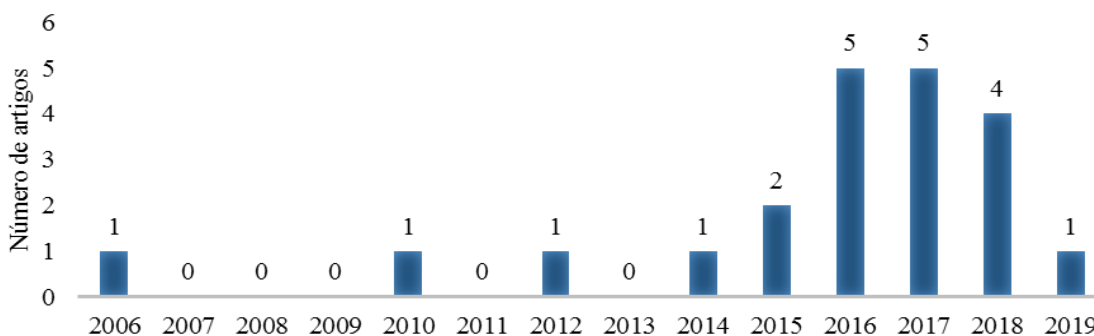
Figura 1 - Estudos de índice de vulnerabilidade às inundações no Brasil.



Fonte - Autoria própria.

Em termos de ano de publicação, percebe-se uma tendência de crescimento em estudos voltados para esta temática de 2006 a 2019 (Figura 2), onde 85% dos estudos ocorreram entre os anos de 2015 e 2019. Isso indica que o uso de índice em estudos de gerenciamento de risco às inundações revela-se atual e com potencial de crescimento no futuro.

Figura 2 - Número de artigos publicados entre 2006 e 2019 no Brasil, sobre o índice de vulnerabilidade às inundações.



Fonte - Autoria própria.

Tabela 1 - Índices de vulnerabilidade às inundações aplicados para o Brasil.

Referência	UF	Nome	Escala	Pré /Pós evento	Índice Risco?	Ag.	Normalização	Ponderação	ASI	V
Almeida (2010)	CE	Índice de Vulnerabilidade Social	SC	Antes	Não	Linear	Não especificado	PCA – ponderação por fatores	Não	Não
Almeida; Welle; Birkmann (2016)	BR	<i>Disaster Risk Indicators in Brazil</i>	SC	Antes	Sim	Linear	Mín-Máx	Nenhum (selecionado pelos autores)	Não	Não
Andrade; Andrade; Bezerra (2017)	PA	Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais (IVDN)	Cidade	Antes	Não	Linear	Categoria escalar	Pesos iguais	Não	Não
Andrade et al. (2018)	PA	<i>Vulnerability index</i>	SC	Antes	Sim	Linear	Categoria escalar	Pesos iguais	Não	Não
Barros; Mendes; Castro (2015)	PR	Índice de Vulnerabilidade Socioambiental	SC	Antes	Não	Linear	Mín-Máx	Pesos iguais	Não	Não
Brito et al. (2018)	RS	<i>Flood Vulnerability Index</i>	SC	Antes	Não	Linear	Funções objetivos	AHP	Não	Sim
Buffon; Paz; Sampaio (2017)	PR	Índice de Vulnerabilidade Social	SC	Antes	Não	Linear	Não especificado	Nenhum (selecionado pelos autores)	Não	Não
Debortoli et al. (2017)	BR	<i>Brazilian flash flood vulnerability index</i>	Cidade	Antes	Sim	Linear	Não especificado	Nenhum (selecionado pelos autores)	Não	Sim
Franco; Souza; Lima (2018)	PA	Índice de Vulnerabilidade Social	SC	Antes	Sim	Linear	Categoria escalar	Pesos iguais	Não	Não
Goert; Kobiyama; Pellerin (2012)	SC	Índice de Vulnerabilidade	SC	Antes	Sim	Linear	Mín-Máx	Pesos iguais	Não	Não
Hummell; Cutter; Emrich (2016)	BR	<i>Social Vulnerability Index</i>	SC	Antes	Não	Linear	Não especificado	PCA – ponderação por fatores	Não	Não
Malagodi e Pelligia (2015)	SP	Vulnerabilidade social	SC	Antes	Sim	Linear	Mín-Máx	Pesos iguais	Não	Não
Marcelino; Nunes; Kobiyama (2006)	SC	Índice de vulnerabilidade	SC	Antes	Sim	Linear	Mín-Máx	Pesos iguais	Não	Não
Mendonça et al. (2016)	PR	Índice de Vulnerabilidade Social	SC	Antes	Não	Linear	Mín-Máx	Pesos iguais	Não	Não
Miguez e Veról (2017)	RJ	<i>Flood Risk Index</i>	SC	Depois	Sim	Linear	Nenhum	AHP	Não	Não
Moura; Frenzel; Moura (2019)	PR	Índice de Vulnerabilidade Socioambiental às inundações	SC	Antes	Sim	Linear	Não especificado	Pesos iguais	Não	Não
Ramos et al. (2018)	RS	Vulnerabilidade	SC	Ambos	Não	Linear	Mín-Máx	AHP	Não	Não
Reis et al. (2016)	RS	Índice de Vulnerabilidade	SC	Antes	Não	Linear	Mín-Máx	Pesos iguais	Não	Não
Roncancio e Nardocci (2016)	SP	<i>Social Vulnerability Index</i>	SC	Antes	Não	Linear	Z-score	PCA – pesos iguais	Não	Não
Souza et al. (2014)	PE	Índice de vulnerabilidade	SC	Antes	Sim	Linear	Mín-Máx	Pesos iguais	Não	Não
Valverde (2017)	SP	Índice Agregado de Vulnerabilidade	Cidade	Antes	Sim	Linear	Mín-Máx	Opinião especialistas	Não	Não

NOTA: SC = setor censitário; Ag. = agregação; ASI = análise de sensibilidade e incerteza; V = validação; PCA = *Principal Components Analysis*; AHP = *Analytic Hierarchy Process*.

Todos os artigos foram avaliados em relação a 5 itens: escala espacial dos indicadores; etapas (pré e pós-evento) de inundação; análise de perigo e risco; métodos empregados na criação do índice e os indicadores mais utilizados. As avaliações foram mais qualitativas do que quantitativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Escala espacial

Com relação à escala espacial dos estudos, foram considerados os seguintes níveis: domicílio; bairro ou setor censitário; cidade; grupo de cidades e estado. Muitos estudos brasileiros recorrem à base de dados do Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), onde há uma série de informações de caráter socioeconômico em nível de setor censitário, que corresponde a menor unidade de análise territorial com limites físicos identificáveis em campo. Nesta pesquisa, 85,7% dos artigos se basearam na escala de setor censitário, enquanto os demais consideram como menor escala o limite municipal. Nota-se que nenhum artigo considerou apenas a área rural. Isso leva a crer que a escolha dos indicadores se baseou na disponibilidade de dados secundários que se encontram, principalmente, em áreas urbanas e no censo demográfico.

Apesar dos estudos serem voltados às inundações, apenas Almeida (2010), Reis et al. (2016) e Miguez e Veról (2017) consideraram como área de estudo a bacia hidrográfica, sendo a unidade territorial apropriada para eventos hidrológicos. Ademais, destaca-se a preocupação na ausência de estudos em nível de indivíduo ou domicílio por meio de aplicação de questionários, ou seja, a aquisição de dados primários, comuns na literatura internacional (SAM et al., 2017; ABBAS et al., 2018; BERINGER e KAEWSUK, 2018; LIU et al., 2018). Esse tipo de estudo favorece a identificação de peculiaridades de uma determinada bacia, é mais preciso e dessa forma tende a reduzir as incertezas envolvidas na construção do índice de vulnerabilidade.

Estágio de preparação contra inundações

Kobiyama et al. (2006) classificaram as etapas na prevenção de desastres naturais em pré-evento (antes) a qual corresponde ao conjunto de prevenção, mitigação e preparação, durante o evento o que consiste em alerta e resposta, e pós-evento (depois) que compõe em reabilitação, reconstrução e recuperação.

A partir dessa pesquisa, verifica-se uma carência em estudos focados na vulnerabilidade, após o evento de inundação, no Brasil, 90,5% dos artigos envolveram a análise pré-evento de inundação. A exceção de dois estudos: Miguez e Veról (2017), onde o índice de risco de inundação se baseia nas consequências no pós-evento em termos de exposição humana, perda econômica e disseminação de doenças transmitidas pela água. E Ramos et al. (2018) que avaliaram a opinião de especialistas para a ponderação dos indicadores, considerando as etapas de resposta (durante o evento) e recuperação (pós-evento).

Índice de risco e perigo

Além do índice de vulnerabilidade, mais da metade dos artigos (52,4%) aplicaram índice de risco às inundações. Para representar o perigo foram utilizados mapas de inundações ou indicadores de perigo, tais como, área inundada (GOERL; KOBİYAMA; PELLERIN, 2012), profundidades da mancha de inundação (MIGUEZ e VERÓL, 2017; MOURA; FRENZEL; MOURA, 2019), duração da inundação (MIGUEZ e VERÓL, 2017), dias com precipitação maior que 50 mm e 80 mm, máxima precipitação com duração de 1 e 5 dias, total anual de dias chuvosos acima do percentil 95 e acumulado anual de chuva (VALVERDE, 2017).

Etapas na construção do índice de vulnerabilidade

As etapas de construção de um índice consistem em: (1) escolher o fenômeno a ser mensurado; (2) selecionar de indicadores; (3) avaliar relações entre os indicadores; (4) normalizar os dados; (5) agregar e ponderar; (6) analisar a sensibilidade e a incerteza; e (7) validar os resultados (Nardo et al., 2008). A primeira etapa corresponde ao fenômeno de inundação, e na segunda etapa os indicadores foram escolhidos com base na literatura em todos os estudos.

Das etapas de construção de um índice, a análise da relação entre os indicadores foi verificada apenas nos estudos de Roncacio e Nardocci (2016) e Almeida (2010) por meio de PCA e no estudo de Hummell; Villagrán de León; Hidajat (2016) através do coeficiente de correlação de Pearson.

Dos métodos de normalização, são comuns o *z-score*, Mín-Máx, *ranking* (JACOBS; SMITH; GODDARD, 2004) e categoria escalar (NARDO et al., 2008), por sua vez a agregação dos indicadores pode ser de forma linear ou geométrica (NARDO et al., 2008). Os métodos de ponderação podem ser baseados em análise estatísticas, como extração de fatores por análise de componentes principais (PCA), e baseado em métodos participativos, como opinião pública ou de especialistas (NARDO et al. 2008) e análise hierárquica de processos (AHP) (VAIDYA e KUMAR, 2006).

Com relação à etapa de normalização, cujos métodos empregados constam nas Tabela 2, nota-se que a maioria dos estudos empregaram a normalização por Mín-Máx (47,6%) e 23,8% não especificaram a metodologia de normalização, que configura um aspecto limitante para a confiabilidade do índice.

A normalização Mín-Máx apresenta como vantagem o fato de poder aumentar o intervalo dos valores dos indicadores dentro de um pequeno intervalo, aumentando o efeito sobre o índice mais do que a transformação pelo *Z-score*, porém valores extremos podem distorcer o indicador em ambas as metodologias (NARDO et al., 2008).

Tabela 2 - Métodos de normalização empregados no Brasil.

Método de normalização	N	%
Min-Máx	10	47,6
Não especificado	5	23,8
Categoria escalar	3	14,3
Z-score	1	4,8
Outro	1	4,8
Nenhum (todos indicadores com mesma unidade)	1	4,8
Total	21	100,0

Fonte - Autoria própria.

Conforme definido por Nardo et al. (2008), os métodos de ponderação podem ser divididos em estatísticos (avaliação objetiva) e participativos (avaliação subjetiva). No presente trabalho, a maioria dos artigos (52,4%) atribuíram pesos iguais aos indicadores. Alguns autores preferem não atribuir pesos, pois acreditam que os indicadores apresentam a mesma importância para o cálculo da vulnerabilidade e são independentes uns dos outros (YOON, 2012), ou não há evidências suficientes para atribuir importância a um indicador em detrimento de outro para produzir uma ponderação robusta (FEKETE, 2011).

Apesar de subjetivos, muitos autores defendem métodos participativos para a seleção de critérios de importância como as ferramentas de decisão por multicritério (MCDM). No presente trabalho, o método mais empregado foi o AHP (14,3%) (Tabela 3), considerado por Brito e Evers (2016) um método direto, flexível e facilmente compreensível.

Tabela 3 - Métodos de ponderação empregados no Brasil.

Método de ponderação	N	%
Pesos iguais	11	52,4
Processo de análise hierárquica (AHP)	3	14,3
Nenhum (selecionados pelos autores)	3	14,3
PCA – ponderação por fatores	2	9,5
PCA – pesos iguais	1	4,8
Opinião de especialistas	1	4,8
Total	21	100,0

Fonte - Autoria própria.

Com relação à etapa de agregação dos indicadores, todos os estudos empregaram a agregação linear. Esse método é útil quando todos os indicadores apresentam a mesma unidade (NARDO et al., 2008) ou após a normalização dos valores dos indicadores.

Cada etapa de construção de um índice de vulnerabilidade às inundações e a escolha dos indicadores são fontes de incertezas, ademais as incertezas associadas à aleatoriedade de eventos de inundações (MERZ; KREIBICH; APEL, 2008). Portanto, no sentido de garantir melhor qualidade do índice e verificar a robustez dos resultados, a análise de vulnerabilidade ou risco às inundações deve ser baseada em análises de incertezas. Entretanto, destaca-se a ausência de análise de sensibilidade e incerteza em todos os estudos brasileiros, o que representa uma limitação da confiabilidade desses índices.

Com relação à validação do índice de vulnerabilidade, apenas Debortoli (2017) validou os resultados, comparando com mapa de inundações de uma base oficial (Atlas Brasileiro de Desastres Naturais). Portanto verifica-se que há limitações na validação desses índices, uma vez que a vulnerabilidade não é quantitativamente mensurável.

Indicadores de vulnerabilidade às inundações

A relação dos indicadores de vulnerabilidade mais utilizados para compor os índices, nesta pesquisa, é apresentada na Figura 3, onde eles são classificados por sua frequência de utilização (maior para o menor).

O presente trabalho empregou alguns dos indicadores citados por Schneiderbauer e Ehrlich (2006), considerados dependentes das inundações, tais como: material de construção (domicílios particulares precários); número de famílias por moradia (média de moradores por domicílio); acesso à água potável (domicílios com ou sem abastecimento de água da rede); e qualidade do sistema de esgoto (domicílios com banheiro sem esgotamento sanitário).

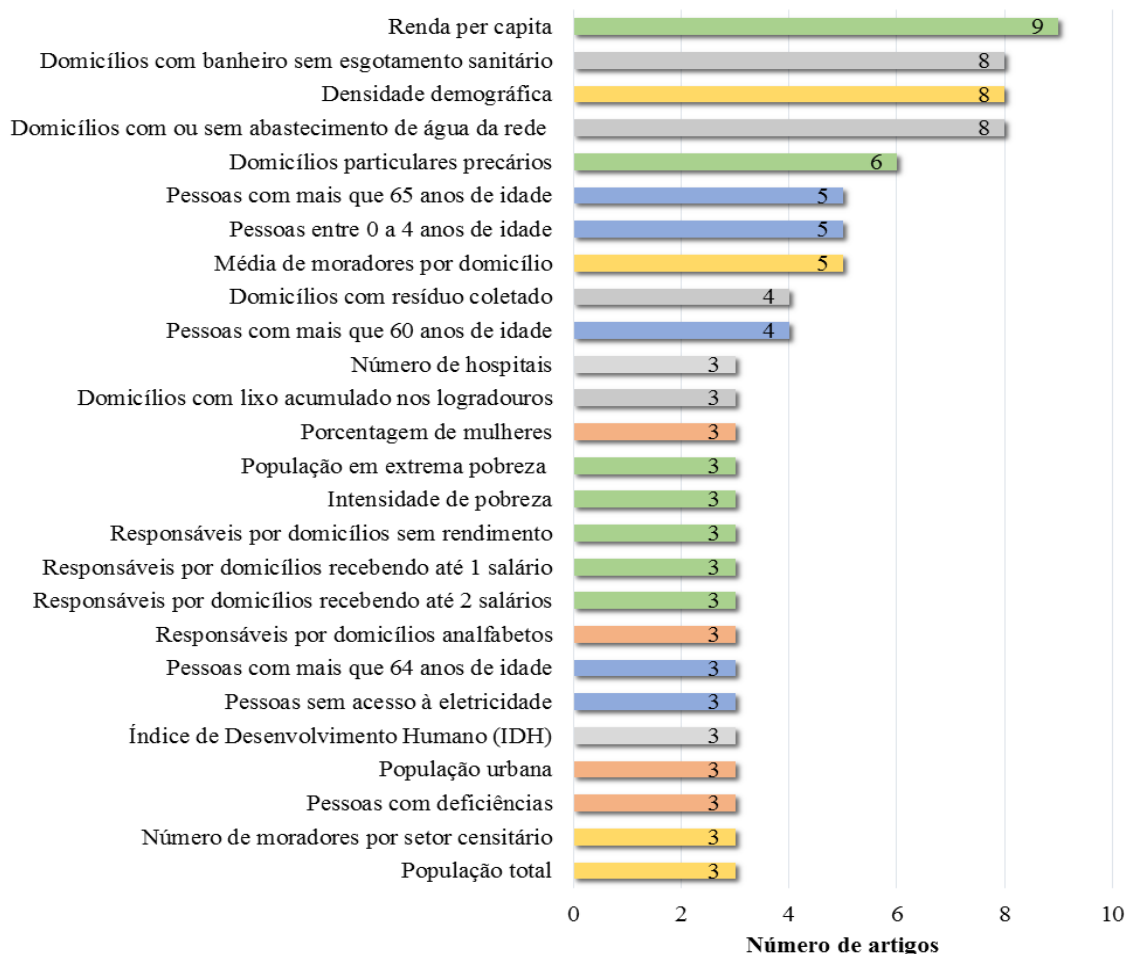
Adicionalmente os indicadores de vulnerabilidade às inundações mais empregados são: renda *per capita*, domicílios com banheiro sem esgotamento sanitário, densidade demográfica, domicílios com ou sem abastecimento de água na rede, e domicílios particulares precários.

Três dos indicadores mais estudados foram encontrados na revisão de literatura sobre vulnerabilidade às inundações de Rufat et al. (2015): (i) pobreza e depreciação, (ii) renda *per capita*, e (iii) higiene e saneamento. O primeiro indicador, além de ser representado por domicílios precários, também pode ser atribuído pelos indicadores de intensidade de pobreza, responsáveis por domicílios sem rendimento e população em extrema pobreza.

De forma geral, verifica-se que os indicadores de vulnerabilidade às inundações empregados no Brasil se dividem em cinco categorias, diferenciados por cores na Figura 3: renda e pobreza (laranja); saneamento básico (verde); faixa etária (azul); quantidade de pessoas (roxo); característica da população (vermelho) e outros que não se enquadraram (números de hospitais e índice de desenvolvimento humano (IDH)) (cinza).

Indicadores relacionados com as condições de saneamento básico, renda e pobreza foram os mais empregados nos artigos analisados. Esses indicadores apresentam uma relação direta com a vulnerabilidade às inundações, uma vez que as pessoas pobres financeiramente costumam morar em áreas de risco, por serem de baixo custo, apresentam dificuldades financeiras em se recuperar de danos causados por inundações e falta de conhecimento sobre temas ambientais. Ademais, costumam morar em domínios precários e sem saneamento básico, onde muitas vezes há lançamento de esgoto na rede de drenagem de águas pluviais e onde há resíduos acumulados, o que propicia a proliferação de doenças de veiculação hídrica e o potencial de risco de ocorrência de movimentos de massa.

Figura 3 - Indicadores de vulnerabilidade às inundações mais empregados no Brasil.



NOTA: Intensidade de pobreza = desvio entre a renda per capita média dos pobres em relação ao valor da linha da pobreza; população em extrema pobreza = pessoas morando em casas ganhando menos que R\$ 70,00 *per capita* por mês.

Fonte - Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nessa revisão de 21 artigos aplicados no Brasil, os quais criaram índices de vulnerabilidade às inundações como uma ferramenta para a gestão de risco, nota-se um aumento do número de estudos nos últimos 5 anos, porém esses índices carecem de confiabilidade. Alguns estudos não especificaram o método de normalização, mais de metade atribuíram pesos iguais aos indicadores, nenhum realizou análise de sensibilidade e incerteza, e quase nenhum validou os resultados. Ademais poucos estudos focaram em indicadores voltados para as condições pós-evento, relacionados aos danos e à consequência do evento de inundação. Ainda que há inúmeros estudos voltados à análise de susceptibilidade às inundações, onde são abordadas as áreas expostas a esse perigo. No ramo da vulnerabilidade, conforme avaliado nesse estudo, verifica-se ainda, a carência de estudos consistentes e adequados para a criação de índices de vulnerabilidade no Brasil, uma vez que o desastre também ocorre quando existem pessoas vulneráveis, além de infraestruturas localizadas em áreas expostas ao perigo.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho teve apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ (Projeto No. 141387/2019-0).

REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. et al. Sustainable survival under climatic extremes: linking flood risk mitigation and coping with flood damages in rural Pakistan. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 32, p. 32491–32505, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3203-8>
- ADGER, W. N. **Approaches to vulnerability to climate change**. London, 1996. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.662.5892&rep=rep1&type=pdf>>.
- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107–124, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1)
- ALEXANDER, D. **Confronting Catastrophe: New Perspectives on Natural Disasters**. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- ALMEIDA, L. Q. De. Vulnerabilidade social aos perigos ambientais. **Revista da Anpege**, v. 6, p. 151–176, 2010. <https://doi.org/10.5418/RA2010.0606.0010>
- ALMEIDA, L. Q. De; WELLE, T.; BIRKMANN, J. Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 17, p. 251–272, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.04.007>
- ANDRADE, M. M. N. De; ANDRADE, Á. de S.; BEZERRA, P. E. S. Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais no estado do Pará (Brasil). **Revista Desarrollo Local Sostenible**, v. 30, p. 1–9, 2017.
- ANDRADE, M. M. N. De; SZLAFSZEIN, C. F. Vulnerability assessment including tangible and intangible components in the index composition: An Amazon case study of flooding and flash flooding. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 903–912, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.271>
- BALICA, S. F. et al. Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: A comparison. **Environmental Modelling and Software**, v. 41, p. 84–92, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.002>
- BALICA, S. F.; DOUBEN, N.; WRIGHT, N. G. Flood vulnerability indices at varying spatial scales. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 10, p. 2571–2580, 2009. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.183>
- BARROS, M. V. F.; MENDES, C.; CASTRO, P. H. M. De. Vulnerabilidade socioambiental à inundação na área urbana de Londrina – PR. **Confins**, n. 24, p. 1–21, 2015. <https://doi.org/10.4000/confins.10228>
- BERINGER, A. L.; KAEWSUK, J. Emerging livelihood vulnerabilities in an urbanizing and climate uncertain environment for the case of a secondary city in Thailand. **Sustainability**, v. 10, n. 5, p. 1452–1473, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10051452>
- BIRKMANN, J. Indicators and criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements. In: **Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies**. [s.l.] : United Nations University Press, 2006. b. v. 02p. 55–77.
- BOHLE, H. G.; DOWNING, T. E.; MICHAEL, J. Climate change and social vulnerability of food insecurity. **Global Environmental Change**, v. 4, n. 1, p. 37–48, 1994. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0959-3780(94)90020-5)
- BRITO, M. M. De; EVERS, M. Multi-criteria decision-making for flood risk management: A survey of the current state of the art. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 16, n. 4, p. 1019–1033, 2016. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1019-2016>
- BRITO, M. M. De; EVERS, M.; ALMORADIE, A. D. S. Participatory flood vulnerability assessment: A multi-criteria approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 1, p. 373–390, 2018. <https://doi.org/10.5194/hess-22-373-2018>
- BUFFON, E. A. M.; PAZ, O. L. de S. Da; SAMPAIO, T. V. M. Uso de veículo aéreo não tripulado (Vant) para mapeamento das vulnerabilidades à inundação urbana: referenciais e bases de aplicação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 9, n. spe, p. 180–189, 2017. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.132547>

CARDONA, O. D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: BANKOFF, G.; FRERKS, G.; HILHORST, D. (Eds.). **Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People**. London: Earthscan, 2003. p. 17.

CEPED-UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais**. Florianópolis, 2013. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/>>.

CLARK, G. E. et al. Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: The case of reverse, MA., USA. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 3, n. 1, p. 59–82, 1998. <https://doi.org/10.1023/A:1009609710795>

CUTTER, S. L. **Living with Risk: The Geography of Technological Hazards**. London: Edward Arnold, 1993.

DEBORTOLI, N. S. et al. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Natural Hazards**, v. 86, n. 2, p. 557–582, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2705-2>

DILLEY, M. et al. **Natural disaster hotspots: A global risk analysis**. Washington, D.C.: World Bank and Columbia University, 2005. <https://doi.org/10.1596/0-8213-5930-4>

DOW, K. Exploring differences in our common future(s): the meaning of vulnerability to global environmental change. **Geoforum**, v. 23, n. 3, p. 417–436, 1992. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(92\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0016-7185(92)90052-6)

DOWNING, T. E. Vulnerability to hunger in Africa. **Global Environmental Change**, v. 1, n. 5, p. 365–380, 1991. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(91\)90003-C](https://doi.org/10.1016/0959-3780(91)90003-C)

FEKETE, A. Spatial disaster vulnerability and risk assessments: Challenges in their quality and acceptance. **Natural Hazards**, v. 61, n. 3, p. 1161–1178, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9973-7>

FRANCO, V. dos S.; SOUZA, E. B. De; LIMA, A. M. M. De. Cheias e vulnerabilidade social: estudo sobre o rio Xingu em Altamira/PA. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, p. 1–22, 2018. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0157r3vu1811ao>

GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 81–100, 2012. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v30i1.13519>

HAHN, H.; VILLAGRÁN DE LEÓN, J. C.; HIDAJAT, R. **Indicators and other instruments for local risk management for communities and local governments**. Washington, D.C, 2003.

HUMMELL, B. M. de L.; CUTTER, S. L.; EMRICH, C. T. Social vulnerability to natural hazards in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 7, n. 2, p. 111–122, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13753-016-0090-9>

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico_2010.html?edicao=9678&t=downloads>. Acesso em: 1 jul. 2019.

IPCC. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>>.

JACOBS, R.; SMITH, P.; GODDARD, M. **Measuring performance: An examination of composite performance indicators** CHE Technical Paper Series. New York, 2004.

KATES, R. W. The interaction of climate and society. In: KATES, R. W.; AUSUBEL, J. H.; BERBERIAN, M. (Eds.). **Climate impact assessment: studies of interactions of climate and society**. New York: John Wiley, 1985. p. 3–36.

KELLY, P. M.; ADGER, W. N. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. **Climatic Change**, v. 47, n. 4, p. 325–352, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1005627828199>

KOBİYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. 1. ed. Florianópolis:

Organic Trading, 2006.

LIU, D. et al. Flood risk perception of rural households in western mountainous regions of Henan Province, China. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 27, n. 2001, p. 155–160, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.09.051>

LIVERMAN, D. M. Vulnerability to global environmental change. In: KASPERSON, R. E. et al. (Eds.). **Understanding Global Environmental Change: The Contributions of Risk Analysis and Management**. Worcester: Clark University, 1990. p. 27–44.

MALAGODI, C. C.; PELOGGIA, A. U. G. Vulnerabilidade e Risco em um assentamento urbano na planície de inundação do Rio Tietê no município de São Paulo (SP). **Revista do Instituto Geológico**, v. 36, n. 2, p. 47–60, 2015. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20150007>

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do Estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 17, p. 72–84, 2006.

MENDONÇA, F. et al. Resiliência socioambiental-espacial urbana à inundações: possibilidades e limites no bairro Cajuru em Curitiba (PR). **Revista da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia**, v. 12, n. 19, p. 279–298, 2016. <https://doi.org/10.5418/RA2016.1219.0012>

MERZ, V. B.; KREIBICH, H.; APEL, H. Flood risk analysis: Uncertainties and validation. **Osterreichische Wasser- und Abfallwirtschaft**, v. 60, n. 5–6, p. 89–94, 2008.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. A catchment scale Integrated Flood Resilience Index to support decision making in urban flood control design. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 44, n. 5, p. 925–946, 2017. <https://doi.org/10.1177/0265813516655799>

MITCHEL, J. K. Hazard research. In: GAILE, G. L.; WILLMOT, C. J. (Eds.). **Geography in America**. Merrill: Columbus, 1989. p. 410–424.

MOURA, E. N.; FRENZEL, A. S.; MOURA, I. I. De. Inundações no meio urbano e vulnerabilidade social: estudo de caso em Curitiba, Brasil. **Redes (Santa Cruz do Sul, Online)**, v. 24, n. 2, p. 122–142, 2019. <https://doi.org/10.17058/redes.v24i2.13251>

NARDO, M. et al. **Handbook of constructing composite indicators: Methodology and user guide**. Pap/Ado ed. Paris: OECD Publishing, 2008.

OEP-EOP. **Disaster preparedness: Report to Congress**. Washington DC: US Government Printing Office, 1972.

PELLING, M. **The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience**. London: Earthscan, 2003.

PIJAWKA, K. D.; FOOTE, S.; SOESILO, A. Risk assessment of transporting hazardous material: Route analysis and hazard management. In: **Dangerous properties of industrial materials report**. Nova Jersey: Wiley-Interscience, 1985. p. 1–6.

PIZARRO, R. La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina. In: **Estudios Estadísticos y Prospectivos**. Santiago de Chile: División de Estadística y Proyecciones Económicas, 2001. p. 72.

RAMOS, P. A. S. et al. Methodological Proposal for Flood Vulnerability Mapping. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 41, n. 3, p. 281–291, 2018. https://doi.org/10.11137/2018_3_281_291

REIS, J. T. et al. Correlação das variáveis para mapeamento de vulnerabilidade aos desastres hidrológicos no Arroio Forromeco-RS. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 3, p. 1361–1371, 2016. <https://doi.org/10.5902/2179460X19989>

RONCANCIO, D. J.; NARDOCCI, A. C. Social vulnerability to natural hazards in São Paulo, Brazil. **Natural Hazards**, v. 84, n. 2, p. 1367–1383, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2491-x>

RUFAT, S. et al. Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 14, p. 470–486, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.09.013>

SAISANA, M.; TARANTOLA, S. **State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development** European Commission Joint Research Centre. Ispra,

2002. Disponível em: <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9253d939-b47b-4428-b792-619e6b6c8645>>.. <https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2005.00350.x>

SAISANA, M.; TARANTOLA, S.; SALTELLI, A. Uncertainty and sensitivity techniques as tools for the analysis and validation of composite indicators. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 168, n. 2, p. 307–323, 2005.

SAM, A. S. et al. Vulnerabilities to flood hazards among rural households in India. **Natural Hazards**, v. 88, n. 2, p. 1133–1153, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2911-6>

SCHNEIDERBAUER, S.; EHRLICH, D. Social levels and hazard (in)dependence in determining vulnerability. In: **Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies**. Tokyo, New York, Paris: United Nations University Press, 2006. p. 78–102.

SOUZA, W. M. S. et al. Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 34, p. 79–94, 2014.

SUSMAN, P.; O'KEEFE, P. Global disasters: A radical interpretation. In: **Interpretations of calamity**. Boston: Allen & Unwin, 1984. p. 264–283.

UNEP. **Assessing human vulnerability to environmental change: concepts, issues, methods, and case studies**. Nairobi: United Nations Environment Programme, Division of Early Warning and Assessment, 2002.

UNISDR. **Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction** United Nations General Assembly. Genebra. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf>.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1–29, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>

VALVERDE, M. C. A interdependência entre vulnerabilidade climática e socioeconômica na região do ABC Paulista. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 3, p. 39–60, 2017. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc66r2v2032017>

VILLAGRAN DE LEON, J. C. **Vulnerability: a conceptual and methodological review**. Bonn: UNU-EHE, 2006. v. 1

WATTS, M. J.; BOHLE, H. G. The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. **Progress in Human Geography**, v. 17, n. 1, p. 43–67, 1993. <https://doi.org/10.1177/030913259301700103>

WISNER, B. et al. **At Risk Natural hazards, people's vulnerability and disasters**. second ed. London, 2004.

YOON, D. K. Assessment of social vulnerability to natural disasters: A comparative study. **Natural Hazards**, v. 63, n. 2, p. 823–843, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0189-2>

Recebido em: 07/01/2020

Aceito para publicação em: 22/01/2021