

ANÁLISE QUANTITATIVA DA SENSIBILIDADE E DA EXPOSIÇÃO À SECA NO ESTADO DO CEARÁ

*Gabriela de Azevedo Reis*¹; *Francisco de Assis de Souza Filho*²; *Larissa Zaira Rafael Rolim*³;
*Renata Locarno Frota*³; *Taís Maria Nunes Carvalho*³

RESUMO – Este trabalho desenvolveu uma análise da sensibilidade e da exposição à seca no Ceará a fim de contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos no processo de tomada de decisão. A sensibilidade leva em consideração o cenário socioeconômico, representando o estado de resiliência de uma comunidade frente a forçantes externas. A exposição representa o regime de chuvas da região a ser estudada. Os dois aspectos foram quantificados a partir de indicadores representativos que foram normalizados. Os indicadores foram divididos entre setores e foram ponderados de acordo com sua importância para o cálculo da sensibilidade ou da exposição. Foram, então, combinados através de média ponderada. O resultado obtido através do método aplicado foi considerado satisfatório, apesar de serem recomendadas algumas alterações no cálculo da exposição de modo a incluir o valor absoluto de precipitação, considerando características além da variabilidade climática local.

ABSTRACT– This work developed an analysis of the sensitivity and exposure to drought in Ceará in order to contribute to the management of water resources during the decision making process. Sensitivity takes into account the socioeconomic scenario, representing the resilience state of a community against external forcings. Exposure represents the rainfall regime of the region in analysis. Both aspects were quantified using representative indicators that were standardized. The indicators were divided between sectors and were weighted according to their importance for the calculation of sensitivity or exposure. They were then combined by weighted mean. The result obtained through the method was considered satisfactory, although some changes in the exposure calculation are recommended in order to include the absolute value of precipitation, considering characteristics besides the local climatic variability.

Palavras-Chave – Sensibilidade. Exposição. Seca.

1) Doutoranda em Engenharia Civil - Universidade Federal do Ceará – gabrielareisazevedo@gmail.com

2) Professor adjunto da Universidade Federal do Ceará - assis@ufc.br

3) Mestranda em Engenharia Civil – Universidade Federal do Ceará - larissazairarr@gmail.com; renata.locarno@hotmail.com; taismarianc@gmail.com

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas compõem importantes transformações no funcionamento da Terra. Por ter forte dependência das condições climáticas locais, o abastecimento de água ganha incertezas e, com o crescimento da população, garantir a segurança hídrica torna-se, cada vez mais, um desafio. A escassez hídrica afeta diversas nações, sendo causada, em parte, pelas mudanças climáticas e, muitas vezes, intensificada devido à falta de infraestrutura (PRYSHLAK *et al.*, 2014). Frente ao aumento da demanda de água, que nos últimos vinte anos apresentou crescimento duas vezes superior ao da população (COSGROVE; LOUCKS, 2015), o cenário de estresse hídrico tem se agravado ao longo dos anos.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – UFSC (2012), a Região Nordeste é a mais impactada por desastres naturais. Esta condição é consequência dos efeitos das secas. A população dessa região é considerada a mais vulnerável aos efeitos das mudanças no clima. Segundo o Plano Brasileiro de Mudanças Climáticas, as populações com condições mais sensíveis de moradia, renda e educação estão mais susceptíveis a impactos consequentes de alterações no meio ambiente e no clima. Ainda, as condições climáticas no Nordeste agravam o cenário de vulnerabilidade, fazendo com que a região torne-se prioritária na elaboração de políticas e ações adaptativas às mudanças climáticas (PBMC, 2013).

A vulnerabilidade passou a ser levada em consideração em trabalhos no âmbito das ciências naturais a partir da publicação de Holling (1973), que desenvolveu os conceitos de estabilidade e resiliência para sistemas ecológicos. O conceito foi evoluindo ao longo das décadas e adquirindo maior complexidade e deixando de ser unidimensional (considerando apenas fatores físicos). Susman *et al.* (1983) apresentaram a vulnerabilidade como variável dependente do risco e da situação socioeconômica da população. Bohle *et al.* (1994) adicionaram ao conceito a ideia de variabilidade através do tempo. Nas últimas décadas, a definição de vulnerabilidade também tem sido trabalhada a partir de três pilares fundamentais: sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa. Essa definição é aplicada na análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas (THOMAS *et al.*, 2016; MCCARTHY *et al.*, 2001).

A sensibilidade leva em consideração o cenário socioeconômico, representando o estado de resiliência de uma comunidade frente a forçantes externas. A exposição representa o regime de chuvas da região a ser estudada e, por fim, a capacidade adaptativa considera as ações antrópicas realizadas

a fim de minimizar os impactos consequentes dos eventos de seca (REIS, 2018; FONTAINE, 2007; ABRAHAM, 2006).

Diante do contexto apresentado, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a sensibilidade e a exposição à seca no estado do Ceará, utilizando as 12 regiões geográficas do Estado e levando em consideração o abastecimento urbano.

MÉTODOS

Foram considerados fatores socioeconômicos e condições hídricas e sanitárias da população estudada para representar a sensibilidade à seca. O Quadro 1 representa os indicadores utilizados, agrupados entre quatro setores: aspectos sociais, aspectos econômicos, condições sanitárias e condições hídricas. A cada setor foi atribuído um peso multiplicador, a critério da pesquisadora, em caráter de importância. O mesmo foi feito para cada indicador, garantido sua devida importância dentro de seus respectivos setores.

Quadro 01 – Indicadores utilizados na análise de sensibilidade.

Setor	Peso do setor	Indicador	Peso do indicador dentro do setor
Aspectos sociais	x 2	População	x 2
		IDH	x 1
		Densidade populacional	x 2
Aspectos econômicos	x 2	PIB industrial	x 2
		Índice de Gini	x 1
Condições sanitárias	x 1	Índice Sem Atendimento de Esgoto	x 1
Condições hídricas	x 3	Demanda Urbana / Demanda Total	x 2
		Demanda Industrial / Demanda Total	x 2
		Demanda Total / Oferta Superficial	x 2
		Oferta Subterrânea	x 1

Fonte: elaborado pela autora.

O nível de exposição foi calculado considerando a variabilidade pluviométrica, identificando ocorrências e intensidade das secas, a partir do SPI-12 de cada região hidrográfica, que foi calculado por meio de dados provenientes de estações pluviométricas, alimentando uma série histórica de 1912 a 2016. Os indicadores considerados, foram: duração da seca (peso 2), severidade da seca (peso 1) e frequência de secas (peso 2).

Os dados obtidos estão em escalas e ordens de grandeza diversas. Por exemplo, o dado de população está em número de habitantes, enquanto o IDH é adimensional. Para corrigir a escala, foi realizado um processo de normalização dos índices utilizando as Equações 1, para relação direta do índice com o valor da sensibilidade/exposição, e 2, para relação inversa, onde I_i representa o indicador, X_i é a variável e Min e Max representam os valores mínimos e máximos fixados para cada indicador. Após o processo de normalização, os indicadores se apresentam em uma escala de 0 (menor sensibilidade/exposição) a 1 (maior sensibilidade/exposição). A fixação dos valores máximos e mínimos faz com que grupos com comportamentos mais extremos se destaquem e extrapolem o valor limite de 1.

$$I_i = \frac{X_i - Min}{Max - Min} \quad (1)$$

$$I_i = \frac{X_i - Max}{Min - Max} \quad (2)$$

Os níveis de sensibilidade e de exposição foram calculados, portanto, a partir da média ponderada de seus respectivos indicadores. Os valores obtidos foram, então, enquadrados entre cinco classes: Baixa Sensibilidade/Exposição, Média, Alta, Muito Alta e Extrema. A classificação “Extrema” foi atribuída às regiões hidrográficas que obtiveram valores acima de 1. A classificação numérica foi feita por intermédio do *software* ArcGIS 10.2.2, utilizando a Otimização de Jenks, que é amplamente aplicada na técnica do mapeamento coroplético. Este método classificatório tem como princípio minimizar as diferenças dos valores de elementos de uma mesma classe e maximizar as diferenças entre as classes (RAMOS *et al.*, 2016; FINN *et al.*, 2006). A classificação é feita com base em um processo iterativo que visa otimizar o valor do Melhor Ajuste de Variância (índice utilizado para medir a qualidade da distribuição dos elementos dentro de cada classe considerando a similaridade entre esses elementos) (RAMOS *et al.*, 2016; SLOCUM *et al.*, 2009).

Por fim, foram elaborados mapas temáticos para espacializar os resultados numéricos obtidos.

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta a distribuição espacial da sensibilidade no estado do Ceará. Nota-se a sensibilidade extrema na bacia Metropolitana, que enquadra a Região Metropolitana de Fortaleza, indicando que há a necessidade de maior atenção às características sociais, econômicas e sanitárias de áreas mais populosas.



Figura 1 – Mapa da sensibilidade à seca.

As influências da população, densidade populacional e PIB industrial da Região Metropolitana de Fortaleza são as mais fortes no cálculo da sensibilidade. Infere-se, então, que locais populosos e de densa demografia apresentam tendências a uma maior sensibilidade à seca. Já na bacia do Baixo Jaguaribe, o indicador mais influente obtido como resultado foi a razão entre demanda total e oferta hídrica. Essa bacia apresenta grandes perímetros irrigados e áreas com intensa atividade de

carcinicultura. Estas atividades apresentam grande demanda hídrica e podem ter proporcionado o alto valor da razão para esta bacia.

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial da exposição no estado do Ceará. O estado apresenta três bacias no cenário extremo de exposição e outras três bacias com exposição muito alta. Este resultado aponta que 50% das regiões hidrográficas cearenses estão fortemente expostas às variações do clima.



Figura 2 – Mapa da exposição à seca.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A avaliação da sensibilidade e da exposição através de uma metodologia quantitativa auxilia no processo de tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos. Essas análises são fundamentais tanto em um plano de secas quanto em um plano de segurança hídrica.

Os resultados obtidos nesta análise foram considerados satisfatórios e condizentes com as informações acerca da realidade sentida na área de estudo. Vale observar, entretanto, que a exposição está considerando apenas elementos de variabilidade climática. Seria ideal, portanto, adicionar informações sobre o volume de precipitação, uma vez que uma alta variabilidade com uma média de 2000mm de precipitação anual é um cenário diferente de uma média de 800mm de precipitação anual.

Adicionalmente, a análise desenvolvida e apresentada conta com a grande vantagem da liberdade de aplicação em diferentes áreas de estudos desde que haja informação o suficiente para alimentar os indicadores que constituem os índices elaborados neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, J. S. (2006). *Assessing drought vulnerability*. University of Arizona.
- BOHLE, H. G.; DOWNING, T. E.; WATTS, M. J. (1994). *Climate change and social vulnerability*. *Global Environmental Change*, 4, 1, pp. 37-48.
- COSGROVE, W.J.; LOUCKS, D.P. (2015). *Water management: current and future challenges and research directions*. *Water Resources Research*, v. 51, p. 4823-4839.
- FINN, M.; WILLIAMS, M.; URSEY, L. (2006). *An Implementation of the Jenks-Caspall Algorithm for Optimal Classification of Data for Geographic Visualization*. In: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Annual Conference: Reno, New York.
- FONTAINE, M. M. (2007). *Assessing vulnerability to natural hazards: an impact-based method and application to drought in Washington State*. University of Washington. 165p.
- HOLLING, C. S. (1973). *Resilience and stability of ecological systems*. *A. Rev. Ecol. Systems*, v. 4, pp. 1-23.
- MCCARTHY, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, N.A.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (Org.) (2001). *Climate change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge e Nova York: Cambridge University Press, 967p.
- PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2013). *Impactos, vulnerabilidades e adaptação*. Sumário Executivo. Brasília.
- PRYSHLAK, T.T.; SAWYER, A.H.; STONEDAHL, S.H.; SOLTANIAN, M.R.; AL, R.E.T. (2014). *Water demand management in times of drought: What matters for water conservation*. *Water Resources Research*, v. 51, p. 125-139.
- REIS, G. A. (2018) *Análise espacial da vulnerabilidade à seca utilizando metodologia iSECA: caso de estudo em São Paulo e Ceará*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

RAMOS, A. P. M.; MARCATO JUNIOR, J.; DECANINI, M. M. S.; PUGLIESI, E. A.; OLIVEIRA, R. F.; PARANHOS FILHOS, A. C. (2016). *Avaliação qualitativa e quantitativa de métodos de classificação de dados para o mapeamento coroplético*. Revista Brasileira de Cartografia, v. 68, n. 3, p. 609-629.

SLOCUM, A. T., MCMASTER, R. B., KESSLER, F. C.; HOWARD, H. H. (2009). *Thematic Cartography and Geovisualization*. 3rd ed. Prentice Hall. 576p.

SUSMAN, P., O'KEEFE, P. and WISNER, B. (1983). *Global disasters, a radical interpretation*, In: *Znterpretations of Calamity for the Viewpoint of Human Ecology*, pp. 263-283, K. Hewitt (Ed.). Allen & Unwin, Boston, MA.

THOMAS, T.; JAISWAL, R.K.; GALKATE, R.; NAYAK, P.C.; GHOSH, N.C. (2016). *Drought indicators-based integrated assessment of drought vulnerability: a case study of Bundelkhand droughts in central India*. Natural Hazards, v. 81, n. 3, p. 1627–1652.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (2012). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010*. Florianópolis.