



# Revista Brasileira de Geografia Física

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



## Diagnóstico Climático dos Índices de Vulnerabilidades no Estado Sergipe

Wanda Tathyana de Castro Silva<sup>1</sup>, Inajá Francisco de Sousa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe/ Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos. Sergipe, e-mail: wandatathyana@gmail.com ORCID: 0000-0002-9698-9671. <sup>2</sup>Universidade Federal de Sergipe/ Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos. Sergipe, e-mail: inajafrancisco@gmail.com ORCID: 0000-0001-6732-0963

Artigo recebido em //2024 e aceito em //2024

### RESUMO

A Vulnerabilidade Socioambiental leva em consideração os contextos climático, econômico e social de uma população, destacando os impactos da variabilidade climática como a influência do fenômeno ENSO em Sergipe. Assim, levando em conta a diferenciação espacial das vulnerabilidades, ou seja, explicar porque determinados municípios se apresentam com maior susceptibilidade a riscos ambientais e sua associação com os índices do ENSO. O objetivo do estudo identifica os municípios sergipano mais vulneráveis e os principais riscos climáticos que os afetam, com vistas a subsidiar ações que reduzam os efeitos causados pela ocorrência de eventos extremos. Para tanto, aplicou-se o Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG), com base em indicadores epidemiológico e climático no período de 2008 a 2022 e o socioeconômico no decorrer do último censo do IBGE que foi realizado no ano de 2010, como também, a correlação das anomalias de precipitação com índices do ENSO. Os resultados mostram que quatro municípios apresentam alta no índice de vulnerabilidade geral (IVG), sendo que Aracaju apresentou o maior valor de IVG (0,44), o maior índice de vulnerabilidade epidemiológica (1,00) e índice de vulnerabilidade climática (0,23). O estudo permitiu constatar que a correlação da precipitação com o ENSO é negativa, porém a relação é significativa.

Palavras-Chave: Indicadores Socioambientais, Populações Vulneráveis, Adaptações Climáticas

## Climate Diagnosis of Vulnerability Indices in the State of Sergipe

### ABSTRACT

Socio-environmental Vulnerability takes into account the climatic, economic and social contexts of a population, highlighting the impacts of climate variability such as the influence of the ENSO phenomenon in Sergipe. Thus, taking into account the spatial differentiation of vulnerabilities, that is, explaining why certain municipalities are more susceptible to environmental risks and their association with ENSO indices. The objective of the study identifies the most vulnerable municipalities in Sergipe and the main climate risks that affect them, with a view to supporting actions that reduce the effects caused by the occurrence of extreme events. To this end, the General Vulnerability Index (IVG) was applied, based on epidemiological and climatic indicators in the period from 2008 to 2022 and socioeconomic indicators during the last IBGE census that was carried out in 2010, as well as the correlation of precipitation anomalies with ENSO indices. The results show that four municipalities have a high general vulnerability index (IVG), with Aracaju having the highest IVG value (0.44), the highest epidemiological vulnerability index (1.00) and climate vulnerability index (0.23). The study revealed that the correlation between precipitation and ENSO is negative, but the relationship is significant.

Keywords: Socio-environmental Indicators, Vulnerable Populations, Climate Adaptations

## Introdução

Em um país onde a principal atividade econômica é a agropecuária, tanto para subsistência quanto para a comercialização, é nítido uma dependência das condições climáticas favoráveis para a manutenção de sua dinâmica econômica em âmbito nacional.

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes do ciclo hidrológico, pois condiciona diversas atividades humanas, como a agricultura, a pesca, a pecuária e o consumo humano e animal de água potável.

A região Nordeste do Brasil (NEB) é conhecida por ser caracterizada por alta variabilidade climática, que normalmente causa chuvas massivas, com inundações e inundações repentinas predominantemente ao longo de sua costa, bem como longos períodos de seca (Walker, 1928; Nobre e Molion, 1988; Uvo da Rocha Júnior et al., 2019).

A localização geográfica da região Nordeste do Brasil, entre os paralelos 1 e 18, poderia ser um fator de profunda influência para uma melhor distribuição e volume da precipitação. Todavia, os volumes pluviométricos variam entre 500 a 800 mm/ano, tendo forte influência das elevadas taxas de evapotranspiração como consequência dos altos índices de insolação.

Situado no setor leste do nordeste brasileiro, “o estado de Sergipe tem seu clima classificado como tropical litorâneo do Nordeste Oriental”. Sua posição geográfica reflete na “característica de transição entre os regimes pluviométricos do Norte (com máximos de fevereiro a maio) e do sul dos setores do NEB (dezembro a fevereiro)”.

Sabe-se que uma variabilidade tão grande, tanto espacial como temporalmente, está intrinsecamente associada às interações oceano-atmosfera em diversas escalas temporais, que são moduladas por vários padrões de teleconexão, principalmente os oceanos Pacífico e Atlântico. Alguns deles incluem o El Niño-Oscilação Sul (ENSO), a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), o Modo Meridional Atlântico (AMM), a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO). Dependendo das fases de cada uma dessas oscilações (positivas ou negativas) e de sua influência combinada sobre o NEB, a região poderá experimentar uma precipitação maior ou menor que a média histórica (Molion e Bernardo, 2002; Mariano et al. 2018; Marengo et al. 2018; Marengo et al. 2013).

O ENSO responde pela maior contribuição individual entre esses modos para a variabilidade climática global à escala inter anual

(Zebiak, 1993). Fortes eventos de El Niño aumentam a temperatura na baixa troposfera em nível global. Por exemplo, durante o El Niño de 1997/98, a temperatura global aumentou 0,74°C, enquanto o evento de 2015/16 causou uma anomalia na temperatura global de +0,83°C (Spencer, 2016).

Fortes episódios de El Niño sempre estiveram associados à secas moderadas ou severas no NEB, o que pode causar pobreza extrema, falta de recursos essenciais e a consequente migração da população para áreas urbanas no centro-sul do Brasil, com grandes problemas socioeconômicos e implicações políticas (Nobre e Molion, 1988; Uvo et al., 1998; Molion e Bernardo, 2002; da Rocha Júnior et al., 2021; Kayano e Andreoli, 2006; Rodrigues et al., 2014). Segundo Marengo et al. (2013), das 45 secas registradas desde o século XVI, apenas duas ocorreram durante episódios de La Niña.

Diante das alterações climáticas a tendência é que os eventos extremos sejam cada vez mais recorrentes e suas consequências já são uma realidade.

É amplamente reconhecido que a temperatura média global está aumentando. Essas elevações aumentam o risco da ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas e inundações.

Pesquisas recentes indicam que os eventos climáticos extremos nos últimos anos incluem três fortes secas em uma década.

As mudanças climáticas estão entre os principais desafios enfrentados pelos países no século XXI (Ripple et al., 2017). O fenômeno pode impactar a composição, a resiliência ou a produtividade de ecossistemas naturais e gerenciados, a operação de sistemas socioeconômicos ou a saúde humana e o bem-estar das populações. Um dos setores mais vulneráveis e que potencialmente sofrerá os maiores impactos negativos é a agricultura, sobre tudo de países em desenvolvimento (Tol, 2018).

Estudos recentes revelam que as secas na região nordeste estão ficando mais severas com uma tendência decrescente significativa de 7 mm/ano da chuva anual e de 0,3 mm/dia por década na taxa de chuva, e um incremento de 12 dias por década dos dias secos consecutivos.

A seca é um fenômeno natural caracterizado pela escassez parcial ou total dos recursos hídricos disponíveis em uma região. Em diversas conjunturas globais, a presença de tal anomalia ressaltou a vulnerabilidade do ecossistema frente aos riscos climáticos e evidenciou a premência por melhorar as estratégias de previsão de riscos e impactos, para então elaborar planos de mitigação e resposta às secas.

A seca é um dos fenômenos mais preocupantes, uma investigação aprofundada da

relação entre seca e capital humano revela uma complexidade significativa que vai além dos impactos imediatos na segurança alimentar e hídrica.

A severidade da seca tem aumentado cada vez mais em países como África, Austrália, Brasil, Estados Unidos e Portugal, alertando para a falta de uma política pública mais eficaz na mitigação deste evento.

No Brasil, podemos citar as secas de 2013-2015 no estado de São Paulo e de 2011-2018 no semiárido Nordeste que resultaram no desenvolvimento de diversas estratégias e/ou ações de mitigação como o programa de ônus e bônus implementado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) para gerenciar a demanda hídrica.

As políticas públicas não devem se restringir apenas ao desenvolvimento de estratégias e/ou ações, mas resultar da elaboração de planos de preparação para as secas que envolvam monitoramento, previsão, avaliação de vulnerabilidades, prevenção e assistência na resposta aos impactos da seca no estado de Sergipe, visto que afeta a sociedade de forma recorrente.

Os efeitos da perda de produtividade agrícola sobre o bem-estar humano dependerá em grande parte da capacidade de os agentes econômicos se adaptarem, ou seja, de se ajustarem às novas necessidades impostas pelos cenários climáticos futuros (Cunha et al., 2015; Haddad et al., 2013). Disponibilidade de informação, novas tecnologias, instituições eficientes, facilidade de acesso a mercados de bens, serviços e oportunidades de financiamento aumentam o sucesso dessa empreitada, mas são justamente nesses pontos que os países em desenvolvimento se encontram mais deficientes (Her-tel Lobell, 2014). Soma-se a isso o fato de que tais países têm sua economia com expressiva dependência da atividade agrícola e estão localizados em regiões onde as condições climáticas já se aproximam dos limites tolerados pelas plantas e pelos animais, fazendo com que aumente a vulnerabilidade socioambiental da população.

De acordo com o atual relatório do Intergovernamental Painel in Climate Change (IPCC), nomeado “Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, é definida como a propensão ou predisposição para uma população/comunidade ser adversamente afetada e inclui uma variedade de conceitos e elementos, englobando sensibilidade ou suscetibilidade a danos e a falta de capacidade para enfrentar e se adaptar. Deste modo, a vulnerabilidade

socioambiental também se configura como produto de auxílio para a indicação dos graus de exposição dos riscos de desastres ambientais.

A vulnerabilidade varia com as condições temporais e espaciais. Consequentemente, no que tange às condições de escassez hídrica, a vulnerabilidade do sistema de abastecimento depende do risco climático e das necessidades do ecossistema local.

Assim, a vulnerabilidade à seca pode ser vista como função do grau de exposição e da capacidade de resposta. Para tanto, é necessário implementar estratégias de gerenciamento de seca nas regiões suscetíveis aos danos.

Marandola Jr. e Hogan (2005) defendem que o conceito de vulnerabilidade e a concepção de risco são indissociáveis; para eles, a vulnerabilidade está em função do risco de alguma eventualidade. Para Crichton (1999), o risco é uma probabilidade de dano decorrente da combinação de três fatores: o perigo, a vulnerabilidade e a exposição. Este último é analisado a partir das condições gerais em que o objeto em estudo está submetido, como a localidade, o ecossistema, a bacia hidrográfica e a comunidade. Tais fatores são ponderados e vinculados à capacidade de resposta aos impactos derivados de eventuais perdas, danos ou desastres.

## Material e métodos

### *Localização da área de estudo*

A pesquisa abrange o estado de Sergipe que está localizado no Nordeste do Brasil. É o menor estado do Brasil, com uma área territorial de 21.938,188km<sup>2</sup> é formado por setenta e cinco municípios com população estimada em 2.210.004 habitantes e densidade demográfica de 100,74 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). O estado apresenta altos índices de vulnerabilidade social, com um total de 63,3% de sua população tendo rendimentos mensais de até um salário mínimo e 48,9% não chegando a completar o ensino fundamental (IBGE, 2010).

No estado de Sergipe se configura em termos climáticos os divisores naturais da escala regional e cujos significados etimológicos reproduzem: Semiárido, Agreste e Litoral.

No litoral temos o predomínio do clima do tipo As, portanto caracterizado como tropical com verões secos, temperaturas médias superiores a 18°C e precipitações anuais superiores a 800mm. Em direção ao interior do estado, temos a área de clima semiárido quente do tipo BSh, com chuvas entre 200 e 750mm anuais concentradas em poucos períodos do ano (meses de maio a julho), pouca nebulosidade, altos níveis de radiação solar e baixa umidade relativa do ar (Pinto, 1985).

Foram utilizados dados pluviométricos mensais obtidos a partir do produto MSWEP (Precipitação de Conjunto Ponderado de Fontes Múltiplas), onde o mesmo utilizados de precipitação global com resolução de 0,1° a cada 3 horas, disponível de 1979 a cerca de 3 horas em tempo real. O produto é único porque combina dados de medição, satélite e reanálise para obter as estimativas de precipitação da mais alta qualidade em todos os locais, para este estudo foi utilizado dados do período de 2008 a 2022 e estão disponíveis no site <http://www.gloh2o.org/mswep/>.

Esses dados também passaram por cálculos de tendência e anomalia. Em seguida, obteve-se correlação de Pearson entre séries de anomalias de precipitação total da região. Os dados socioeconômicos foram obtidos decorrentes do censo demográfico 2010, disponibilizados por (IBGE, 2022) e os dados epidemiológicos do Sistema de Informações Hospitalares (SIH/DATASUS). Os dados de mapeamento das áreas de risco do estado foram obtidos pelo Serviço Geológico do Brasil no site <https://www.sgb.gov.br/publicue/GestaoTerritorial/Prevencao-de-Desastres/Setorizacao-deRiscos-Geologicos---Sergipe-4892.html>.

Os demais dados foram obtidos pelo acervo da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas. As análises foram realizadas utilizando o software RePython para elaboração dos mapas e o software excel para confecção das tabelas.

#### *Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG)*

Para o estudo e mapeamento desse índice foi necessária a utilização de três dimensões da vulnerabilidade socioambiental: socioeconômica (IVSE), epidemiológica (IVE) e climática (IVC).

O IVG foi apresentado no Brasil pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e publicado em 2005 um relatório com o resultado de três anos de pesquisas executadas pela Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) (Brasil, 2005).

Trata-se, portanto, de um índice composto que agrega o IVG e é construído pela média aritmética de três índices citados acima, conforme a Equação 1.

$$IVG = \frac{IVSE + IVE + IVC}{3} \quad (1)$$

O índice de vulnerabilidade faz uma avaliação quantitativa, levando em consideração os três índices (IVSE, IVE e IVC), de modo que seu valor varie entre 0 e 1, onde o valor 0 identifica menor vulnerabilidade e o valor 1 maior vulnerabilidade (Brasil, 2005; Confalonieri et al.,

2009).

Cada índice é composto pelos seguintes indicadores. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVSE). Neste trabalho foram considerados 10 (dez) indicadores distribuídos em 05 (cinco) categorias, cujas definições estão disponíveis no site <http://cidades.ibge.gov.br>, a saber: Categoria 1: Demografia: densidade demográfica (hab./km<sup>2</sup>) e o grau de urbanização (%); Categoria 2: Renda: população acima de 10 anos com rendimento mensal de ½ a 1 salário mínimo (%) e população acima de 10 anos com rendimento mensal de 2 a 3 salários mínimos (%); Categoria 3: Educação: população acima de 10 anos de idade sem instrução e ensino fundamental incompleto (%) e população acima de 10 anos de idade com ensino médio completo e ensino superior incompleto (%); Categoria 4: Saneamento: domicílios que possuem e não possuem abastecimento de água (%), esgotamento sanitário (%) e coleta de resíduos (%); Categoria 5: Saúde: taxa de mortalidade infantil com menos de 01 (um) ano de idade (%) e esperança de vida ao nascer (%). Em seguida foram feitas as classificações e padronizações dos indicadores segundo sua relação com o conceito de vulnerabilidade apresentado neste estudo, de forma que seus valores variem entre 0 e 1. Se o valor alto do indicador representa uma situação de menor vulnerabilidade, deve-se utilizar a equação tipo 1. Se o valor baixo do indicador representa uma situação de menor vulnerabilidade, deve-se utilizar a equação tipo 2.

Nesta etapa tende-se a desconsiderar as dimensões dos indicadores, tornando-os adimensionais, a partir das seguintes Equações 2 e 3.

$$I_p = \frac{MáximoI - I_{observado}}{MáximoI - MínimoI} \quad (2)$$

$$I_p = \frac{I_{observado} - MínimoI}{MáximoI - MínimoI} \quad (3)$$

em que:

$I_p$  é cada um dos 10 indicadores analisados;  $I_{observado}$  é o valor observado do indicador  $I$ ;  $MínimoI$  é o menor valor observado do indicador  $I$ ; e  $MáximoI$  é o maior valor observado  $I$ . Na penúltima etapa foram construídos índices sintéticos por dimensão (demografia, renda, educação, saneamento e saúde), dado pela média aritmética simples dos indicadores analisados. Por fim, desenvolver o IVSE por meio da média aritmética simples dos resultados das dimensões.

$$IVSE = \frac{\text{Demografia} + \text{Renda} + \text{Educação} + \text{Saneamento} + \text{Saúde}}{5} \quad (4)$$

Índice de Vulnerabilidade Epidemiológica (IVE)

O Índice de Vulnerabilidade Epidemiológica (IVE) foi desenvolvido com o intuito de sintetizar as informações contidas num grupo de três doenças de veiculação hídrica em um único indicador, levando em conta a relação entre clima e surtos de doenças de veiculação hídrica (Patz et al., 2000; Curriero et al., 2001). Neste caso as doenças selecionadas são: Dengue, Leptospirose e Hepatite A. A escolha dessas endemias está relacionada à alta incidência de vetores e casos associados a enchentes e inundações na mesorregião de estudo (Travassos da Rosa et al., 2000; Gonçalves et al., 2016).

**INDICADOR 1:** Escolha dos indicadores a serem utilizados. Nesta pesquisa optou-se por:

- 1) Número de internação/Número de internação da mesorregião;
- 2) Número de óbitos/Número de óbitos da mesorregião.

**INDICADOR 2:** Os indicadores selecionados para a construção do IVE foram normalizados de acordo com a equação 5.

$$\frac{I_{\text{observado}} - \text{Mínimo}_I}{\text{Máximo}_I - \text{Mínimo}_I} \quad (5)$$

**INDICADOR 3:** A elaboração do índice sintético de cada epidemia por meio da média aritmética simples dos indicadores normalizados. O IVE foi elaborado segundo Santos et al. (2017), que compreendem que as mesmas endemias devem ser postas de formas iguais na verificação do IVE.

#### *Índice de Vulnerabilidade Climática (IVC)*

O IVC é apresentado com o objetivo de classificar os municípios conforme o número (%) de meses que apresentam os níveis extremos de precipitação. Em outras palavras, os eventos extremos representam uma maior exposição da sociedade a vulnerabilidade socioeconômica e epidemiológica. A construção do IVC consiste em duas etapas:

Primeira etapa: para identificação dos eventos extremos utilizou-se à aplicação do método de *boxplot* ou diagrama de caixas, uma ferramenta utilizada para a identificação dos valores discrepantes (outliers), que considera a assimetria e a variabilidade de um determinado conjunto de dados.

Após a elaboração do *boxplot* para cada município, foi calculada a porcentagem de eventos extremos/outliers.

Segunda etapa: consideração da porcentagem de meses que apresentam acumulados de precipitação extremos, calculado a partir da

seguinte Equação 6.

$$IVC = \frac{P_{\text{observada}} - \text{Mínimo}}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}} \quad (6)$$

em que:

Pobservada refere-se ao valor da porcentagem de meses com precipitação extrema alta; Mínimo refere-se ao menor valor observado de meses com precipitação extrema, e Máximo refere-se ao maior valor observado de meses com precipitação extrema.

#### *Análise Estatística*

Para a classificação dos índices de vulnerabilidade em alta, média e baixa, utilizou-se a técnica estatística Análise Hierárquica de Cluster, que fundamenta-se em um processo de divisão de população heterogênea em vários sub grupos mais homogêneos, procurando associar elementos de dados com base na similaridade entre eles (Zaiane e Oliveira, 2003).

#### **Resultados**

Mediante a média aritmética simples dos índices de vulnerabilidade socioeconômica (IVSE), epidemiológica (IVE), climática (IVC) foi possível desenvolver o mapa de vulnerabilidade geral (IVG).

A partir da Figura 1, observa-se de forma espacial o grau de vulnerabilidade geral do estado de Sergipe.

Tendo em vista que 4 dos 75 municípios analisados (Aracaju, Nossa Senhora de Lourdes, São Francisco e Aquidabã) apresentaram alta vulnerabilidade (IVG) superior a 0,31.

Vale ressaltar que, a maioria dos municípios sergipanos apresentaram vulnerabilidade média e outros baixa vulnerabilidade. No entanto, todo o Estado é vulnerável e o índice climático (IVC) é o que predomina na maioria dos municípios, conforme tabela 1.

A vulnerabilidade é uma função de caráter, magnitude e ritmo da mudança do clima e da variação a que um sistema está exposto, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação (IPCC, 2007 p.28).

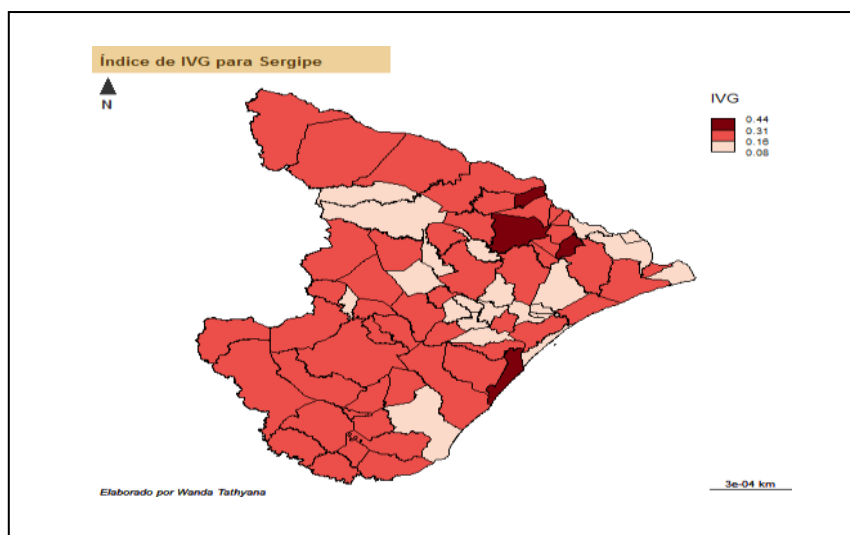


Figura1. Mapa do Índice de Vulnerabilidade Geral do estado de Sergipe, referente ao período de 2008 a 2022. Fonte: autora.

O principal fator determinante para o alto IVG da cidade de Aracaju foi de ordem climática e epidemiológica, já para os municípios de Nossa Senhora de Lourdes, São Francisco e Aquidabã a contribuição foi de ordem climática e socioeconômica (Tabela1).

No entanto, é importante evidenciar

que a vulnerabilidade de uma região não se analisa apenas pelas questões climáticas, mas também de um conjunto de processos e eventos físicos, sociais, políticos e econômicos que colaboram para a ocorrência de perdas econômicas, e como consequência, fome e miséria (Sivakumaret al., 2005).

**Tabela 1.** Índices de vulnerabilidade socioeconômica (IVSE), epidemiológica (IVE), climática (IVC) e geral (IVG) para os municípios de maior vulnerabilidade. Os números destacados em vermelho são os índices classificados em alta vulnerabilidade. Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

| Municípios         | IVSE | IVE  | IVC  | IVG  |
|--------------------|------|------|------|------|
| Aracaju            | 0,08 | 1,00 | 0,23 | 0,44 |
| N. Sra. de Lourdes | 0,17 | 0,00 | 0,95 | 0,37 |
| São Francisco      | 0,15 | 0,00 | 0,97 | 0,37 |
| Aquidabã           | 0,15 | 0,02 | 0,86 | 0,34 |

É importante considerar que os eventos climáticos de ENSO causam interferência no regime hídrico e na temperatura global. No Nordeste do Brasil, provoca redução de chuva e aumento de temperatura, enquanto que a La Niña causa aumento da chuva e diminuição da temperatura.

Na Tabela 2 pode-se verificar anos de El Niño forte e muito forte, intensidade do fenômeno, como também, anos de secas no Estado de Sergipe. Apresentando intensidade muito forte nos anos de 1997-1998 e 2015-2016, provocando secas moderadas a extremas nos municípios sergipanos, causando diminuição ou escassez no abastecimento da população, perda no setor de agropecuária, enfim os diversos setores da economia e sociedade são afetados diante da variabilidade climática.

Diante das mudanças climáticas, os fenômenos atmosféricos tendem a ocorrer com maior frequência e intensidade, causando riscos climáticos e gerando impactos negativos para a sociedade, que estão associados às chuvas intensas, secas extremas, frio e/ou calor extremos, ciclogênese, ventos fortes, furações, entre outros. Esses fenômenos podem causar alagamentos, enchentes, deficiência alimentar, estresse térmico, doenças respiratórias, dentre outros. Pode-se analisar algumas situações diante das figuras S1, S2, S3, S4 e S5.

Em decorrência da interferência humana no clima global, a tendência é que o número de desastres naturais cresça rapidamente (aumentando a vulnerabilidade).

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 2011) ressalta que, os eventos extremos meteorológicos de forte intensidade são as principais causas de catástrofes naturais que atingem a sociedade, observados e registrados em

escalas locais e regionais.

Por isso, o poder público deve construir políticas públicas para que haja a mitigação e adaptação da população diante do novo cenário climático.

**Tabela 2.** Demonstração e classificação da intensidade dos anos de El Niño e as respectivas secas ocorridas no estado de Sergipe. Fonte: CPTEC/INPE, UNIFEI, INMET E FUNCEME.

| El Niño (ANOS) | Intensidade | Anos de Secas (SPI) |
|----------------|-------------|---------------------|
| 1991-1992      | Forte       | 1991-1992           |
| 1997-1998      | MuitoForte  | 1997-1998           |
| 2015-2016      | MuitoForte  | 2015-2016           |
| 2023-2024      | Forte       | 2023-2024           |

A análise das correlações da precipitação com os índices Niño foi realizada, pois, o índice IVC apresentou-se alto nos quatro municípios estudados permitindo examinar possíveis associações ao longo tempo.

Os resultados apontam, de fato, para correlações (negativas) mais elevadas como Pacífico oriental–Niño 3, em -0,35, seguido por Niño 1+2, em -0,33, sendo ambos estatisticamente significativos ao nível de 95%– do que como centro e oeste. Pacífico–Niño 3.4 e Niño 4, respectivamente com este último não conseguindo atingir nem mesmo o nível de confiança de 90% (Figura 2).

Ressalta-se que, em estudos climatológicos, as correlações tendem a serem relativamente altas, uma

vez que, apesar das relevâncias conhecidas de determinados modos de variabilidade sobre determinadas regiões (neste caso, ENSO no estado de Sergipe), nunca se espera que um único padrão de teleconexão seja o único fator na modulação da variabilidade climática daquela região específica. Pelo contrário, para qualquer região do mundo, existem vários outros atores, numa ampla gama de escalas espaciais e temporais, que exercerão influência sobre a região. Além disso, existem alguns fatores que ajudam a explicar porque não foram encontradas correlações elevadas neste estudo, como exemplo, a interferência do Dipolo do Atlântico, entre outros.

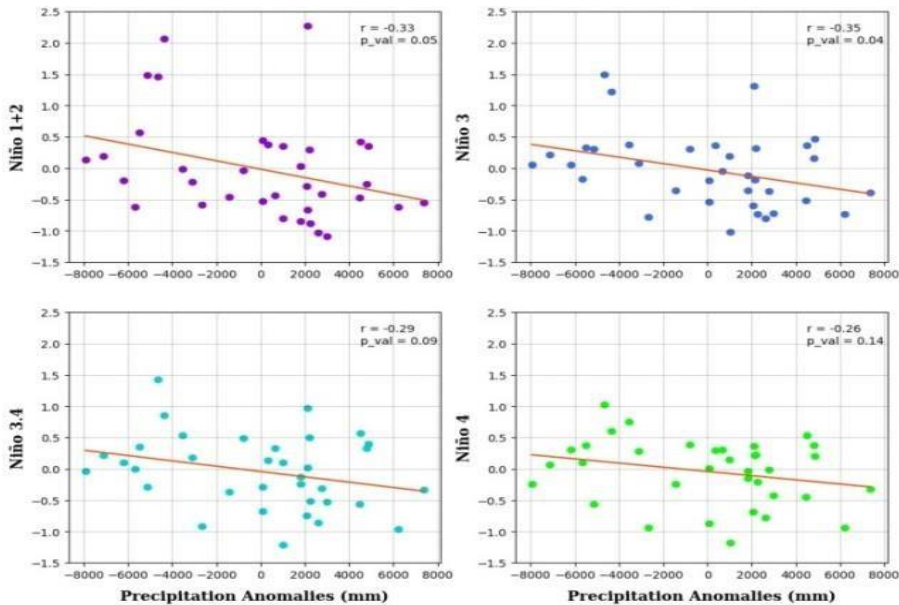


Figura 2. Correlação das anomalias de precipitação com os índices do ENSO para o estado de Sergipe. Fonte: GLOH2O/NOAA e elaborado pela autora.

## Conclusão

Através do estudo da vulnerabilidade foi possível perceber que quatro dos municípios sergipanos apresentaram alto índice de vulnerabilidade geral IVG e foi constatado que tem relação especialmente com o índice Niño 3.4, pois define a região do pacífico equatorial onde há atuação efetiva dos eventos ENSO. Assim, diante da correlação negativa com a precipitação dos municípios sergipanos é considerado significativo estatisticamente.

Nesse contexto, o trabalho visou primeiramente colaborar com a literatura local sobre a vulnerabilidade geral levando em conta os aspectos socioambientais, correlação com índices ENSO e perspectiva de mudanças climáticas, propondo a discussão e ampliação do tema, bem como o incentivo a futuras pesquisas com a utilização e o aperfeiçoamento do método proposto, buscando assessorar as gestões municipais e estaduais permitindo o gerenciamento e a criação de um banco de dados sobre a atual e futura vulnerabilidade da sociedade frente às mudanças do clima. E por fim a aplicabilidade aos formuladores de políticas públicas, fazendo com que haja prevenção e minimização da vulnerabilidade socioambiental em nível estadual.

## Referências

- Amondo, Emily Injete; Nshakira-Rukundo, Emmanuel; Mirzabaev, Alisher. The effect of extreme weather events on child nutrition and health (2023). *Food Security*, v. 15, n. 3, p. 571-596.
- Ara Begun, R.; Lempert, R.; Ali, E.; Benjaminsen, T. A.; Bernauer, T.; Cramer, W.; Cui, X.; Mach, K.; Nagy, G.; Stenseth, N. C.; Sukumar, R.; Wester, P. (2022) Point of Departure and Key Concepts. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.
- Brasil (2005) Plano Plurianual de Governo-Ppa Programa Mudanças Climáticas. Análise da Vulnerabilidade da População Brasileira aos Impactos Sanitários das Mudanças climáticas. *Brasília*.
- Brito, A. P. D., Silva, N. C. D., Tomasella, J., Ferreira, S. J. F., & Monteiro, M. T. F. (2022) Análise do índice de Anomalia de Chuva e Tendência de Precipitação para Estações Pluviométricas na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 37, n. 1, 19-30, 2022. [rbmet.org.br](http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863701452) DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863701452>.
- Brooks, N. (2003) Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework. *Tyndall Centre for Climate Change Working Paper 38*.
- Confalonieri, U. E., Marinho, D. P., & Rodriguez, R. E. (2009) "Public Health Vulnerability to Climate Change in Brazil". *Climate Research*, V. 40, P.175-186.
- Cunha, D. A., Coelho, A. B., e Féres, J. G. (2005) Irrigation as an Adaptive Strategy to Climate Change: An Economic Perspective on Brazilian Agriculture Environment and Development Economics, 20(1): 57-79.
- Cunha, R. L. A. (2008) Definição de Cenários de Referência para Avaliação dos Impactos das Secas. *Portugal: Porto FEUP*.
- Curriero, F. C., Patz, J., Rose, J., & Lele, S. (2001) "The Association Between Extreme Precipitation and Waterborne Disease Outbreaks in the United States", 1948-1994. *Journal of Public Health*, V.91, N.8, P.1194-1199.
- da Rocha Júnior, R. L., Silva, F. D. S., Costa, R. L., Gomes, H. B., Herdies, D. L., Silva, V. P. R., Xavier, A. C. (2019) Analysis of the Space-Temporal Trends of Wet Conditions in the Different Rainy Seasons of Brazilian Northeast by Quantile Regression and Bootstrap Test. *Geosciences*, 9, 457.
- da Rocha Júnior, R. L.; Cavalcante Pinto, D. D.; dos Santos Silva, F. D.; Gomes, H. B.; Barros Gomes, H.; Costa, R. L.; Santos Pereira, M. P.; Peña, M.; dos Santos Coelho, C. A.; Herdies, D. L. (2021) An Empirical Seasonal Rainfall Forecasting Model for the Northeast Region of Brazil. *Water*, 13, 1613. DOI: 10.3390/w13121613
- Duffy, P. B.; Brando, P.; Asner, G. P.; Field, C. B. (2015) Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(43): 13172-13177. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1421010112>.
- GLOH2O, high-resolution, bias-corrected weather data for the past, present, and future. Disponível em: <<http://www.gloh2o.org/mswep/>>.
- Gonçalves, N. V., de Araujo, E. N., da Silva Sousa, J., Pereira, W. M., do Socorro Carvalho Miranda, C., & da Silvia Campos, P. S. (2016) "Distribuição Espaço Temporal da Leptospirose e fatores de Risco em Belém, Pará, Brasil", V.21, N.12. *Revista Ciência & Saúde Coletiva*, P.3947-3955.
- Gutiérrez, A. P. A. et al. (2014) Drought



- preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*. Volume 3, p. 95-106.
- Haddad, E. A. (2013) “Regional Economic Impactos Of Climate Anomalies in Brazil”. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, 7(2): 19-33.
- Her-tel, T. L. (2014) Agricultural Adaptation to Climate Change in Richand Poor Countries: Current Modeling Practice and Potential for Empirical Contri- Butions. *Energy Economics*. 46:562-575.
- IBGE, *Censo Demográfico (2010)* Disponível Em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>.
- IBGE, *Censo Demográfico (2022)* Disponível em: <<http://www.censo2022.ibge.gov.br>>.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Índice de Precipitação Padronizado (SPI)*. Disponível em: <<https://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>>. Acesso em: 01 maio 2024.
- Intergovernmental Panel On Climate Change. “Alterações Climáticas (2014) Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade”. Acesso em: 15 de junho de 2023. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5\\_wg2\\_spmport-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg2_spmport-1.pdf).
- IPCC - Mudança do Clima (2007) Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade -Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do IPCC. *Genebra / Suíça: Secretariado do IPCC*, p. 28.
- Jiménez-Muñoz, J. C., et al. (2016) Record breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific Reports*, 6(1): 33130. Doi: <https://doi.org/10.1038/srep33130>.
- Kayano, M. T.; Andreoli, R. V. (2006) “Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and the El Niño–Southern Oscillation”. *J. Geophys. Res. Space Phys*, 111, 13101.
- Marengo, J. A., et al. (2008) The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21(3): 495–516. Doi: <https://doi.org/10.1175/2007jcli1600.1>.
- Marengo, J. A., et al. (2011) The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 38(12): 12703-12723. Doi: <https://doi.org/10.1029/2011gl047436>.
- Marengo, J.A., Lincoln, M.A., Soares, W.R., Rodríguez, D.A., Camargo, H., Riveros, M.P., Pabló, A.D. (2013) “Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil”, *Journal of Climate*, 26: 9137-9153. doi: 10.1175/jcli-d-12-00642.1
- Marengo, J. A.; Espinoza, J. C. (2016) Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36(3): 1033-1050. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4420>.
- Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Alvalá, R. C. S.; Cunha, A. P.; Brito, S.; Moraes, O. L. L. (2018) Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro*, v. 90, n. 2 Suppl. 1, p. 1973-1985. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.
- Mariano, Denis, A. et al (2018) Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. *Remote Sensing of Environment*, [s. l.], v. 213, n. May, p. 129–143.
- Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I. M. (2007) *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos*.
- Molion, L. C. B.; Bernardo, S. O. (2002) “Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro”. *Rev. Bras. Meteorol.*, 17: 1–10.
- NOAA (National Oceanicand Atmospheric Administration), (2023) Disponível em: <<https://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/>>.
- Nobre, C. A.; Molion, L. C. B. (1988) The Climatology of Droughts and Drought Prediction. In *Impacts of Climatic Variations on Agriculture*. Volume 2: Assesments in Semi-Arid Regions; Parry, M.P., Carter, T.R., Konijn, N.T., Eds.; D. Reidel Pub. Co.: Dordrecht, The Netherlands, 94p.
- Patz, J. A., Mc Geehin, M., Bernard, S., Ebi, K., Epstein, P., Grambsch, A., et al. (2000) The Potencial Health Impacts of Climate Variability and Change for the United States: Executive Summary of the Report of the Health Sector of the us National Assessment. *Environmental Health Perspectives*, V.108, N.4.P.367-376.
- Pereira, E. R. R. et al. (2011) Variabilidade do número de dias chuvosos no estado de Sergipe–SE. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*.
- Pinto, J. D. (1985) Análise Têmporo-Espacial da Pluviosidade do Estado de Sergipe. *Dissertação de Mestrado-USP*.
- Ripple, W. J. (2017) World Scientists “Warning to Humanity: A Second Notice”. *Bio Science*, 67(12):1026-1028.
- Rodrigues, R. R.; Mc Phaden, M. J. (2014) “Why did the 2011-2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?” *Geophys. Res. Lett.*, 41, 1012–1018.

- Santos, M., Vitorino, M., & Pimentel, M. A. (2017) "Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas: Análise Socioambiental em uma Mesorregião da Amazônia", V.12, N.5, Taubaté. *Revista Ambiente e Água*.
- SaleS, E. S. G. (2019) Classificação de áreas semiáridas e subúmidas secas utilizando diferentes índices climáticos. *Dissertação de mestrado*, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.
- Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/publico/gestao-territorial/prevencao-de-desastres/setorizacao-deriscos-geologicos---sergipe-4892.html>>.
- Sivakumar, M. V. K.; Das, H. P.; Brunini, O. (2005) Impactsof present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. *Climatic Change*, New York, v.70, n. 1, p. 31-72.
- Souza, C. O. M.; Fouto, N. M. N. D. (2019) Economic incentives for water consumption reduction: case study of the city of Sao Paulo, Brazil. *Water Policy*, 21(6): 1266–1278. <https://doi.org/10.2166/wp.2019.022>
- Spencer, R. W. Disponível em: <http://www.drroyspencer.com/latest-global-temperatures/> acesso em 14/06/2016.
- Tol, R. S. (2018) "The Economic Impacts of Climate Change". *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1):4–25.
- Travassos da Rosa, A. P., Vasconcelos, P. F., Travassos da Rosa, E. S., Rodrigues, S. G., Mondet, B., & Cruz, A. C. (2000) Dengue Epidemic in Belém, Pará, Brazil, 1996-97, V.6, N.3. *Emerging Infectious Disease*. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.3201%2feid0603.000311>>.
- Uvo, C. B.; Repelli, C. A.; Zebiak, S. E.; Kushnir, Y. (1998) "The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation". *J. Clim.*, 11, 551–562.
- Veyret. Y. (2007) Os Riscos: o Homem como agressor e vítima do meio ambiente. *Internationally Agreed Glossary for Basic Terms Related to Disaster Management*. São Paulo: Ed. Contexto.
- Walker, G.T. (1928) Ceará (Brazil) famines and the general air movement. *Beitr. Phys. Frein. Atmosph.* 14, 88–93.
- Wilhite, D. A.; Glantz, M. H. (1987) Understanding the drought phenomenon: The role definitions. *Colorado: Westview*, cap. 2, p. 11-14.
- Wilhite, D. A.; Botterill, L.; Monnik, K. (2005) National Drought Policy: Lessons Learned from Australia, South Africa, and the United States. *In: Wilhite D.A. (1st ed.) Drought and water crises: science, technology, and management issues*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 93–135.
- Zebiak, S. E., (1993) "Air-Sea Interaction in the Equatorial Atlantic Region", *J. Climate*, 6: 1567-1586, DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<1567:AIITEA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1567:AIITEA>2.0.CO;2)
- Zhang, Junyao et al (2022) Effects of Different Socioeconomic Development Levels on Extreme Precipitation Events in Mainland China. *Sustainability*, v. 14, n. 22, p. 15284.