

## **Avaliação do comportamento *Vegetation Health Index* no diagnóstico de secas no Nordeste brasileiro**

**Evaluation of Vegetation Health Index behavior in the diagnosis of droughts in the Brazilian Northeast**

**Evaluación del comportamiento del índice de salud de la vegetación en el diagnóstico de sequías en el nordeste brasileño**

Recebido: 09/03/2022 | Revisado: 17/03/2022 | Aceito: 18/03/2022 | Publicado: 26/03/2022

**Carla Taciane Brasil dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6426-9346>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [carlataciane01@gmail.com](mailto:carlataciane01@gmail.com)

**Washington Luiz Félix Correia Filho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4029-4491>  
Universidade Federal do Rio Grande, Brasil  
E-mail: [washington.correia@furg.br](mailto:washington.correia@furg.br)

**José Francisco de Oliveira Júnior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6131-7605>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-Mail: [jose.junior@icat.ufal.br](mailto:jose.junior@icat.ufal.br)

**Dimas de Barros Santiago**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7118-8467>  
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
E-mail: [dimas.barros91@gmail.com](mailto:dimas.barros91@gmail.com)

**Bárbara Alves Batista**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0034-0991>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [barbara.alba18@gmail.com](mailto:barbara.alba18@gmail.com)

### **Resumo**

Nas últimas décadas, a ocorrência de secas aumentou ao longo do globo, inclusive no Brasil, e tais episódios ocorrem com maior severidade no Nordeste brasileiro (NEB). Como consequência, essas secas desencadeiam problemas ambientais, socioeconômicos e regionais. Neste trabalho, avaliou-se o comportamento desses eventos a partir do *Vegetation Health Index* (VHI) sobre o NEB. Esta análise será realizada a partir dos dados do *Global Vegetation Health* (GVH), com base nos registros de satélites via sensor *Advanced Very High-Resolution Radiometer* (AVHRR), disponibilizado pelo *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA). Esses dados possuem resolução temporal em escala semanal durante os anos de 1982-2019, ao qual foram convertidos para composições anuais, enquanto a resolução espacial é de 4km x 4km. A partir de uma análise prévia selecionou-se os anos de 1983, 1993, 1998 (três episódios de *El Niño*) e 2012 (episódio atípico de *La Niña*), baseadas no *Oceanic Niño Index* (ONI). Os resultados obtidos do comportamento do VHI anual apontaram diferenças espaciais significativas, com as classes referentes a seca severa (VHI anual entre 0-6%) e extrema (VHI anual entre 6-12%) detectadas nos estados do Ceará, Piauí, e Rio Grande do Norte durante os anos 1983, 1993 e 2012. O ano de 2012 foi o mais severo entre os anos analisados, com o maior percentual da classe referente a seca extrema e severa com os valores de 0,5% e 5,5% da área total do NEB, respectivamente, principalmente na região central da Bahia. A seca iniciada durante o *La Niña* de 2012 perdurou até 2017 causou efeito devastador sobre o NEB, provocando forte variabilidade nos totais pluviométricos, culminando em enormes prejuízos socioambientais e econômicos.

**Palavras-chave:** Saúde da vegetação global; *Advanced Very High-Resolution Radiometer*; Bahia; Ceará.

### **Abstract**

In the past few decades, droughts have increased along with the globe, including in Brazil, and such episodes occur with greater severity in the Brazilian Northeast (NEB). Consequently, these droughts trigger environmental, socio-economic, and regional problems. This work assessed the behavior of these events from *Vegetation Health Index* (VHI) on the NEB. This analysis will be carried out from the *Global Vegetation Health* (GVH) data, based on the satellite records via *Advanced Very High-Resolution Radiometer* (AVHRR) sensor, made available by *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA). These data have temporal resolution on a weekly scale during the years 1982-2019, to which they were converted to annual composites, while the spatial resolution is 4km x

4km. A prior analysis was realized and selected 1983, 1993, 1998 (three episodes of *El Niño*), and 2012 (anomalous episode of *La Niña*), based on the Oceanic Niño Index (ONI). The results obtained from the annual VHI behavior pointed out significant spatial differences, with the classes referring to severe drought (annual VHI between 0-6%) and extreme (annual VHI between 6-12%) detected in the states of Ceará, Piauí, and Rio Grande do Norte during the years 1983, 1993 and 2012. The year 2012 was the most severe among the years analyzed, with the highest percentage of the class regarding extreme and severe drought with the values of 0.5% and 5.5% of the total area of the NEB, respectively, mainly in the central region of Bahia. The drought initiated during the *La Niña* of 2012 lasted until 2017 caused a devastating effect on the NEB, causing substantial variability in the rainfall totals, culminating in enormous socio-environmental and economic damage.

**Keywords:** Global vegetation health; Advanced Very High-Resolution Radiometer; Bahia; Ceará.

### Resumen

En las últimas décadas, la ocurrencia de sequías ha aumentado a lo largo del globo, incluso en Brasil, y tales episodios ocurren con mayor severidad en el Noreste Brasileño (NEB). Como consecuencia, estas sequías provocan problemas ambientales, socioeconómicos y regionales. En este trabajo, se evaluó el comportamiento de estos eventos del Índice de Salud de la Vegetación (VHI) en la NEB. Este análisis se llevará a cabo a partir de los datos de Global Vegetation Health (GVH), basados en los registros satelitales a través del sensor de Radiómetro Avanzado Muy Alto-Resolución (AVHRR), puesto a disposición por la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA). Estos datos tienen resolución temporal a escala semanal durante los años 1982-2019, a los que se convirtieron a composiciones anuales, mientras que la resolución espacial es de 4km x 4km. De un análisis previo seleccionaron los años 1983, 1993, 1998 (tres episodios de El Niño) y 2012 (episodio atípico de La Niña), basados en el Índice de Niño Oceánico (ONI). Los resultados obtenidos del comportamiento anual de VHI señalaron diferencias espaciales significativas, con las clases referidas a la sequía severa (VHI anual entre 0-6%) y extrema (VHI anual entre 6-12%) detectada en los estados de Ceará, Piauí y Rio Grande do Norte durante los años 1983, 1993 y 2012. El año 2012 fue el más severo entre los años analizados, con el mayor porcentaje de la clase en cuanto a sequía extrema y severa con valores de 0,5% y 5,5% del área total de la NEB, respectivamente, principalmente en la región central de Bahía. La sequía iniciada durante el 2012 La Niña duró hasta 2017 causó un efecto devastador en la NEB, desencadenando una fuerte variabilidad en los totales pluviométricos, culminando con enormes daños socio-ambientales y económicos.

**Palabras clave:** Salud global de la vegetación; *Advanced Very High-Resolution Radiometer*; Bahia; Ceará.

## 1. Introdução

Nas últimas décadas, as secas estão cada vez mais recorrentes e mais intensas ao longo do globo, inclusive no Brasil, ao qual tais episódios ocorrem com maior severidade no Nordeste brasileiro (NEB) (Correia Filho et al., 2018; Marengo et al., 2018). Esses eventos impactam negativamente em diversos setores, como: na agricultura, pecuária, sistemas hídricos de armazenamento e abastecimento, indústria, energia, dentre diversos outros (Marengo et al., 2018; Correia Filho et al., 2019). A característica comum dos eventos de seca é a irregularidade e escassez do regime pluviométrico, com média anual inferior a 800 mm (Pessoa & Cavalcanti, 2002), ao qual estes episódios remetem os primórdios da história do Brasil (Moreira Filho et al., 2002). ocorre em três ou quatro meses do ano, com média anual inferior a 800 mm.

Um fator indispensável para o surgimento de secas é o modo de variabilidade El Niño-Oscilação Sul (ENOS), um fenômeno natural que surge com as variações anômalas da temperatura na superfície da região Tropical do Pacífico, próximo à costa da América do Sul, que modifica as células de circulação atmosférica, logo nos padrões de ventos e precipitação ao redor do planeta (Nobre & Shukla, 1996; Bastianin et al., 2018). No Nordeste do Brasil (NEB), estes eventos exercem uma forte influência, com grandes impactos socioeconômicos, principalmente em anos de El Niño (Marengo et al., 2016; Marengo et al., 2018). Inicialmente, essa variação contribuiu para o aumento na irregularidade das chuvas, que condiciona o surgimento de episódios de secas, e resulta em perdas agrícolas (Araújo et al., 2013). A ocorrência das secas no NEB resulta em grandes prejuízos socioeconômicos para a população, ao qual parte dos cultivos agrícolas são de subsistência e familiar, tornando-a mais vulnerável a esses eventos extremos (Andrade & Lima, 2013; Lima e Magalhães, 2019).

Diversos métodos são utilizados para a detecção de secas, tais como, a partir de índices de precipitação oriundas de observações pluviométricas (Lyra et al., 2014; Correia Filho et al., 2017; Costa et al., 2021), ou produto de reanálise (Correia Filho et al., 2021; Batista et al., 2022), ou via produto orbital proveniente de índices de vegetação (Correia Filho et al., 2018;

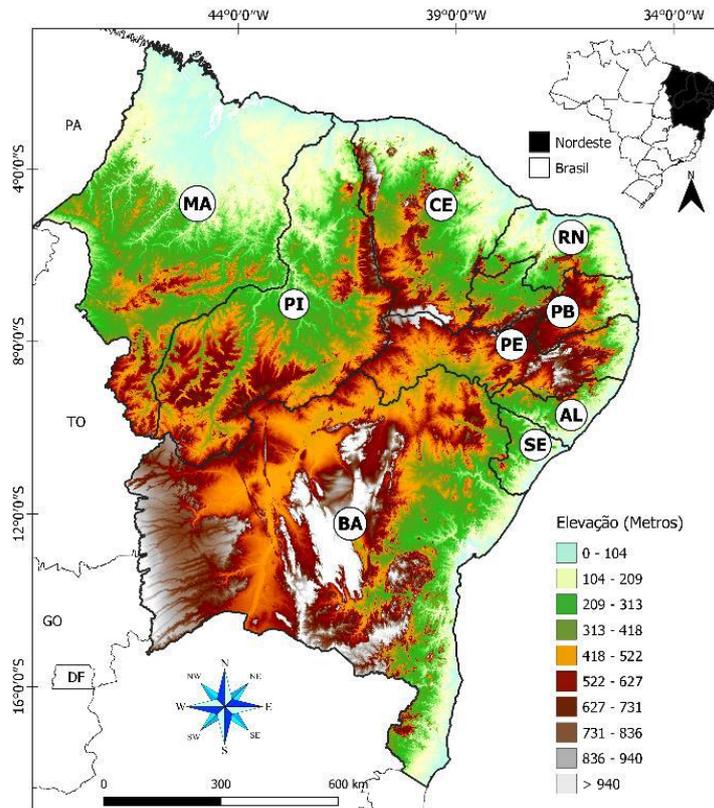
Barros Santiago et al., 2020). Neste artigo utilizou-se produto orbital, provenientes de satélites ambientais a partir do sensoriamento remoto (SR), baseada no monitoramento da perda das áreas vegetativas, como por exemplo, a utilização do *Vegetation Health Index* (VHI) - (Karnieli, 2010; Bento et al., 2018; Santiago et al., 2020). Com a utilização deste índice, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento do VHI durante os anos de ocorrência dos ENOS.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de Estudo

O NEB possui uma área de 1,56 milhões de km<sup>2</sup>, ao qual é dividido em 9 estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, ao qual abrange um total de 1793 municípios, com uma população de aproximadamente 56,8 milhões de habitantes (IBGE, 2021), ilustrado na Figura 1.

**Figura 1** – Mapa de delimitação do NEB, com sua altitude (m) via modelo digital de elevação (MDE).



Fonte: Autores.

### 2.2 Dados

O conjunto de dados do *Vegetation Health Index* pertence ao produto do *Global Vegetation Health* (GVH), baseado nos registros de satélites a partir do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) obtido de satélites orbitais polares, gerenciado pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), fornecidos de maneira semanal a partir dos anos 1981, neste caso, utilizou-se o período de 1982 a 2019, com resolução espacial de 4km x 4km (Kogan et al., 2011). Este sensor registra dados ambientais como *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e Temperatura de Brilho do topo das nuvens. Nestes dados realizou-se a conversão de dados semanais para médias mensais, e posteriormente sazonais. Dos 456 meses, apenas 1,7% de ausência de dados. Para avaliarmos a saúde vegetativa sobre o NEB, utilizou-se mapas temáticos anuais

do Índice da Saúde da Vegetação (*Vegetation Health Index*, sigla em inglês). O cálculo da obtenção do VHI, comumente utilizado na detecção de seca a partir da saúde vegetativa (Karnieli et al., 2010; Bento et al., 2018; Santiago et al., 2020), obtida pela Eq. (1):

$$VHI = (0,5 * VCI) + (1 - 0,5) * TCI \quad (1)$$

O valor de VHI varia de acordo com a condição sem seca (favorável) a seca extrema (estresse), descrita na Tabela 1, adaptada do NOAA STAR Center (2021).

**Tabela 1** – Classificação dos valores de VHI em termos de seca.

Valor de VHI	Classificação
$0 < VHI \leq 6$	Seca Extrema (SE)
$6 < VHI \leq 12$	Seca Severa (SI)
$12 < VHI \leq 24$	Seca Moderada (SM)
$24 < VHI \leq 36$	Seca Leve (SL)
$36 < VHI \leq 48$	Sem Seca (N)
$48 < VHI \leq 100$	Favorável (F)

Fonte: NOAA STAR Center (2021).

A obtenção dos Índices de Condição de Vegetação (VCI – *Vegetation Condition Index*, sigla em inglês) e da condição de temperatura (TCI – *Temperature Condition Index*, sigla em inglês) mencionados no VHI serão descritos a seguir (Kogan, 1995a; Kogan, 1997). O VCI proposto por Kogan (1995a) normaliza o NDVI entre o valor de mínimo e máximo, durante o período de estudo. Este índice destaca possível diferença significativa ao longo do tempo, minimizando a influência da variabilidade espacial da vegetação entre diferentes coberturas vegetação e as condições climáticas (Karnieli et al., 2010). O VCI é obtido pela Eq. (2):

$$VCI = \left( \frac{NDVI' - NDVI_{max}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) * 100 \quad (2)$$

Em que  $NDVI'$  é o valor médio do NDVI de cada ano,  $NDVI_{max}$  e  $NDVI_{min}$  representam o valor máximo e mínimo do período analisado, respectivamente.

Como adaptação ao TCI, este índice permite estimar as condições térmicas de seca em superfície baseados nos valores de TST (Eq. 3) - (Kogan, 1995a).

$$TCI = \left( \frac{TST_{max} - TST'}{TST_{max} - TST_{min}} \right) * 100 \quad (3)$$

Em que  $TST'$ ,  $TST_{max}$  e  $TST_{min}$  se referem às temperaturas média, máxima e mínima do período analisado, respectivamente.

A partir de uma análise prévia, os mapas anuais de VHI que se destacaram e consequentemente selecionados para avaliação foram: 1983, 1993, 1998, e 2012, baseada no Índice Niño Oceânico (ONI) - (Huang et al., 2015). O índice ONI baseia-se em anomalias mensais de Temperatura de Superfície do Mar (aTSM) na Região Equatorial do Pacífico, conhecida como região *Niño* 3.4 (CPC/NOAA, 2021), ilustrada na Tabela 2. Quando o aTSM é superior que  $0,5^{\circ}\text{C}$  é classificada como *El Niño*, quando o sinal é oposto, ou seja, aTSM inferior a  $-0,5^{\circ}\text{C}$  é classificada como *La Niña* (Correia Filho et al., 2019).

**Tabela 2** – ENOS de intensidade moderada e intensa (aTSM +/- 0.5°C) do período de 1979-2017 (Correia Filho et al., 2019).

Eventos	Anos
El Niño	1979-1980, 1982-1983, 1986-1988, 1991-1992, 1994-1995, 1997-1998, 2002-2003, 2006-2007, 2009-2010, 2015-2016
La Niña	1983-1985, 1988-1989, 1995-1996, 1999-2001, 2005-2006, 2007-2009, 2010-2012

Fonte: Adaptado de Correia Filho et al. (2019).

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados a seguir abordará o comportamento do VHI anual em anos de seca, ilustrada nas Figura 2 e Tabela 3. Nota-se diferenças nos espaciais distintas ao longo das imagens selecionadas, principalmente no ano de 2012 (ano de um excepcional La Niña, Figura 2d).

**Tabela 3** – Percentual do valor anual do VHI, referentes as classes de seca: (a) SE – Seca Extrema, (b) SS - Seca Severa, (c) SM - Seca Moderada, (d) SL – Seca Leve, (e) N – Sem Seca, e (f) F – Favorável.

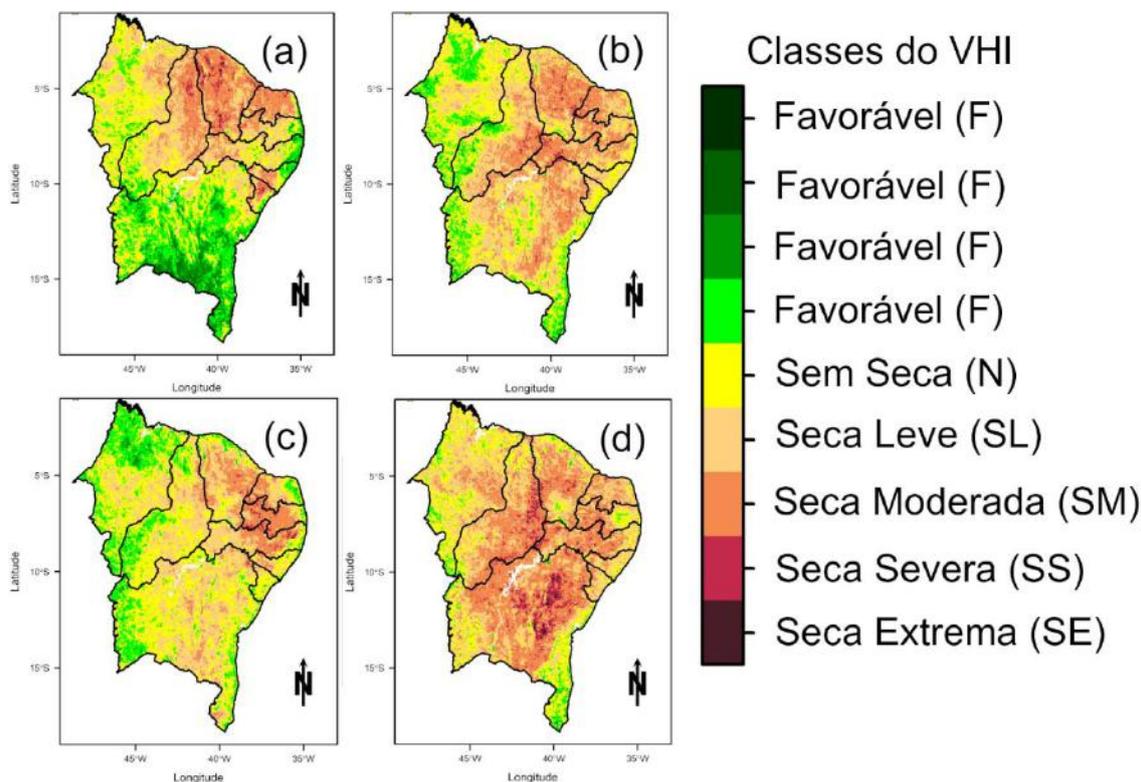
Classes do VHI	1983 (%)	1993 (%)	1998 (%)	2012 (%)
SE	0,1	0,0	0,0	0,5
SS	1,8	1,2	0,8	5,5
SM	16,1	22,2	11,5	36,9
SL	24,9	34,9	33,2	34,3
N	28,6	28,7	36,8	19,1
F	28,5	12,9	17,7	3,8

Fonte: Autores.

Estas diferenças nos padrões espaciais detectadas pelo VHI ao longo do NEB apontam que as classes de Seca Leve (SL, VHI anual entre 24-36%), Moderada (SM, VHI anual entre 12-24%) são mais presentes na região, constatada nos estados da Bahia, Maranhão, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Piauí, Paraíba e Ceará. Nota-se que no ano de 1998 (Fig. 2c), a classe Sem Seca (N, VHI anual entre 36-48%), com o valor de 36,8% da área total do NEB.

Além disso, detecta-se que a porção norte, ao qual estão localizados os estados do Maranhão, Piauí e Rio Grande do Norte, e oeste dos estados de Alagoas e Sergipe detectaram o efeito das secas. Quando nos referimos a classe de seca leve (SL, VHI anual entre 6-12%) é a mais representativa no ano de 1993, ao qual a região mais afetada está situada na região central do NEB. Em relação a classe Seca Moderada (SM, VHI anual entre 12-24%), nota-se que esta é mais representativa nos anos de 1993 e 2012. Em relação ao ano de 2012 (Figura 2d), apresenta características muito distintas quando comparados aos demais anos, ao qual apresenta os maiores percentuais das classes Seca Moderada (SM, VHI anual entre 6-12), Severa (SS, VHI anual entre 6-12%) e Extrema (SE, VHI anual <6%), com os valores de 36,9%, 5,5% e 0,5%, respectivamente. No caso desse referido ano, constata-se que o estado da Bahia e Piauí são os estados mais afetados pela classe SE.

**Figura 2** – Comportamento anual do VHI durante os anos de ocorrência de El Niños: (a) 1983, (b) 1993, (c) 1998, e (d) 2012.



Fonte: Kogan et al. (2011).

Este comportamento de VHI está diretamente associado a atuação do ENOS ao longo do NEB (Marengo et al., 2018; Correia Filho et al., 2019). No ano de 1982, classificado como El Niño forte que persistiu até meados de 1983, a seca influenciou o regime pluviométrico do ano de 1984 (Melo, 1999). Um fato atípico está relacionado ao ano de 2012, considerado um *La Niña* moderado, caracterizado ser associado a ocorrência de chuvas homogêneas na região (Marengo et al., 2018), no entanto, foi um ano adverso, de seca severa ao longo do NEB, principalmente no semiárido (Marengo et al., 2018).

Durante o *El Niño* de 1983 (Figura 2a), a seca afetou cerca de 1.328 municípios que atingiu 28,9 milhões pessoas, de acordo com Xavier et al. (2001), grande parte do norte do Nordeste e o semiárido apresentaram uma redução entre 60 e 100% no regime pluviométrico em relação à média histórica, principalmente no norte do Ceará até o norte da Bahia, e do oeste do Rio Grande do Norte até o Centro-Leste do Piauí. A intensidade desse evento ( $aTSM > 4^{\circ}C$ ) resultaram na redução de 72% na produção agrícola (feijão, milho, arroz, algodão e mandioca), afetando principalmente a região do semiárido do NEB (Marengo et al., 2011).

Em relação ao ano de El Niño de 1993, verifica-se que os efeitos da seca podem ser constatados na região central do NEB, ao qual as classes SM e SS correspondem a 22,2% e 1,2% da área total. Durante este período ocorreu um período de longa estiagem, entre os anos de 1990-1995 (Marengo et al., 2016; Carmo & Lima, 2020). Já em relação ao *El Niño* de 1998 (Figura 2c), verifica-se que a severidade da seca ocorre sobre os estados de Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, e Rio Grande do Norte, com as classes de SM e SS correspondem a 11,2% e 0,8% da área total.

Durante esse *La Niña* de 2012 (Fig. 2d), a maioria dos municípios do NEB declararam estado de emergência em virtude da gravidade da seca, considerada a mais grave nas recentes décadas (Marengo et al., 2018). Em episódios de seca extrema, a queda no regime pluviométrico é superior a 50%, e esta redução na região do semiárido provocar grandes impactos, principalmente nos recursos hídricos e agricultura (De Nys et al., 2016). Analisando os anos de 1983, 1993 e 1998, ao qual

ocorrem os episódios de *El Niño* identificou-se que esses anos foram os mais secos em toda a região nordestina, no entanto, não tão severo e impactante quanto o *La Niña* ocorrido em 2012.

Já a seca ocorrida durante o *La Niña* de 2012, ocasionou prejuízos para os setores agrícola, pecuária, e produtores industriais, com perdas estimadas em torno de US\$ 6 bilhões (Marengo et al., 2018). A longa duração e a recorrência desse episódio de seca, afetou a economia do semiárido de 1.100 municípios no semiárido do NEB, ao qual dependem da pecuária extensiva e áreas de atividade de agricultura familiar (Marengo et al., 2016). Em virtude da recorrência desses eventos, nota-se uma intensificação de seus efeitos, como o prolongamento dos períodos de estiagem, resultante da escassez de chuvas conforme constatado por Marengo et al. (2021), ao qual coincide com as grandes secas no período (De Nys et al., 2016).

#### 4. Considerações Finais

Os resultados apontaram que as concentrações de secas severas (VHI anual entre 0-6%) e extrema (VHI anual entre 6-12%), ocorreram em regiões com maiores irregularidades das chuvas. Foram identificadas nos estados da Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí, verificado principalmente em 2012. A seca iniciada durante o *La Niña* de 2012 perdurou até 2017 causou efeitos devastadores sobre o NEB. Um desses está associada a redução nos totais pluviométricos no semiárido nordestino que resultaram em enormes prejuízos socioambientais e econômicos. Além disso, detectou-se uma diminuição na qualidade da saúde vegetativa em anos de *El Niño*, provocados pela irregularidade das chuvas. Em virtude dos períodos anômalos, constatou-se o surgimento da degradação da vegetação via VHI, resultantes das condições climáticas provocados pela atuação dos ENOS.

#### Referências

- Andrade, M. M., & Lima, K. C. (2013) Projeção climática da Frequência de eventos de precipitação intensa no Nordeste do Brasil: resultados preliminares. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6 (5), 1158-1173.
- Araújo, P. H. C., Féres, J., Reis, E., & Braga, M. J. (2013) Eventos climáticos extremos: efeitos dos fenômenos el niño e la niña sobre a produtividade agrícola. In: Boueri, R.; Costa, M. A. (Eds.). *Brasil em desenvolvimento: estado, planejamento e políticas públicas*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), v. 3.
- Bastianin, A., Lanza, A., & Manera, M. (2018) Economic impacts of El Niño southern oscillation: evidence from the Colombian coffee market. *Agric. Econ.*, 49, 623–633. <https://doi.org/10.1111/agec.12447>
- Bento, V. A., Gouveia, C. M., Dacamara, C. C., & Trigo, I. F. (2018) A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. *Agricultural and forest meteorology*, 259, 286-295. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.014>
- Carmo, M. V. N. S. D., & Lima, C. H. R. (2020) Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do índice SPI. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35, 233-242.
- Correia Filho, W. L. F., Alves, L. E. R., & dos Santos, M. N. (2017) Caracterização de extremos Anuais de precipitação para o estado de Sergipe. *Revista de Geografia (Recife)*, 34 (1), 49-70.
- Correia Filho, W. L. F., Santos, T. V., Diogo, A. M., & Amorim, R. F. C. (2018) Diagnóstico da Precipitação e EVI em Dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, 35, 102-112. <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.140068>
- Correia Filho, W. L. F., Oliveira-Júnior, J. F., Santiago, D. B., Terassi, P. M. B., Teodoro, P. E., Gois, G., Blanco, C. J. C., Souza, P. H. A., Costa, M., & Santos, P. J. (2019) Rainfall variability in the Brazilian northeast biomes and their interactions with meteorological systems and ENSO via CHELSA product. *Big Earth Data*, 3, 315-337. <https://doi.org/10.1080/20964471.2019.1692298>
- Correia Filho, W. L. F., de Oliveira-Júnior, J. F., da Silva Junior, C. A., & Santiago, D. B. (2021) Influence of the El Niño–Southern Oscillation and the synoptic systems on the rainfall variability over the Brazilian Cerrado via Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station data. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.7417>
- Costa, M. D. S., Oliveira-Júnior, J. F. D., Santos, P. J. D., Correia Filho, W. L. F., Gois, G. D., Blanco, C. J. C., Teodoro, P. E., Silva Junior, C. A., Santiago, D. de B., Souza, E. O., & Jardim, A. M. D. R. F. (2021) Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño–Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 41, E2111-E2135. <https://doi.org/10.1002/joc.6835>
- De Nys, E., Engle, N. L., & Magalhães, A. R. (2016) *Secas no Brasil: política e gestão proativas*. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos-CGEE, v. 292.

- Huang, B., Banzon, V. F., Freeman, E., Lawrimore, J., Liu, W., Peterson, T. C., Smith, T. M., Thorne, P. W., Woodruff, S. D., & Zhang, H. M. (2015) Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST v4). Part I: Upgrades and intercomparisons. *Journal of Climate*, 28, 911-930. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00006.1>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021) *Censo*. <http://www.ibge.gov.br>.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T. M., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G., Panov, N., & Goldberg, A. (2010) Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations. *J. Clim. Am. Meteorol. Soc.*, 24, 618–633. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2900.1>
- Kogan, F. N. (1995a) Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Adv. Space Res.*, 15, 91–100. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T)
- Kogan, F. N. (1995b) Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 76 (5), 655-668. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2)
- Kogan F. N. (1997) Global drought watch from space. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78, 621–636. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2)
- Kogan, F. N. (2001) Operational space technology for global vegetation assessment. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 82, 1949-1964. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082<1949:OSTFGV>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082<1949:OSTFGV>2.3.CO;2)
- Kogan, F., Guo, W., & Jelenak, A. (2011) Global Vegetation Health: Long-Term Data Records. In: Kogan F., Powell A., Fedorov O. (eds). *Use of Satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9618-0\\_28](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9618-0_28)
- Lima, J. R., & Magalhães, A. R. (2019) Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. *Parcerias Estratégicas*, 23(46), 191-212, 2019.
- Lyra, G. B., Oliveira-Júnior, J. F., & Zeri, M. (2014). Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 34, 3546-3558. <https://doi.org/10.1002/joc.3926>
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Beserra, E., & Lacerda, F. (2011). Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Salomão de Sousa Medeiros, Hans Raj Gheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz. (Org.). *Recursos Hídricos e, Regiões Áridas e Semi Áridas*. INSA, p. 383-416.
- Marengo, J.A., Torres, R. R., & Alves, L.M. (2016b) Drought in Northeast Brazil - Past, present, and future. *Theor. Appl. Climatol.*, 129(3-4), 1189-1200.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Alvalá, R. C., Cunha, A. P., Brito, S. 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*, 90 (2), 1973-1985. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- Melo, J. C. (1999). O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. *Raízes*, 20, 13-21. <https://doi.org/10.37370/raizes.1999.v.162>
- Moreira Filho, J. de C., Galinho Filho, O. T., & Duarte, R. S. (2002). *A seca de 1993: Crônica de um flagelo anunciado*. Fortaleza: Banco do Nordeste; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, v. 4, 138p.
- NOAA STAR Center. (2021) STAR - Global Vegetation Health Products. [https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browseVH.php](https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browseVH.php)
- Nobre, P., & Shukla, J. (1996) Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, 9, 2464–2479. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2)
- Pessoa, D. M, Cavalcanti, C. V. (2002). *Caráter e efeitos da seca nordestina de 1970*. Fortaleza: Banco do Nordeste; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 301 p.
- Santiago, D. B., Correia Filho, W. L. F., Oliveira-Júnior, J. F., Lyra, M., & Vila Nova, T. S. (2020). Comportamento da Saúde Vegetativa do Cerrado Nordestino Brasileiro. *Meteorologia e Recursos Naturais: Estudos Aplicados*. Campina Grande: EDUFCEG, 247-255.
- Xavier, T. M. B. S. (2001). Tempo de Chuva - *Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional*, Fortaleza: ABC Editora, 478p. Cap. 3, 6-11.