

Trend analysis of the standardized occurrence index in the microregion of Sousa-PB

Antônia Silânia de Andrade*, Célia Campos Braga**, Welinagila Grangeiro de Sousa***, Madson Tavares Silva****

*Bolsistas de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – (UFCG).
Email: silaniaandrade21@gmail.com (autor correspondente)

** Professora Doutora da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - (UACA), Universidade Federal de Campina Grande - (UFCG). Email: celiadca@hotmail.com.

*** Bolsistas de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande - (UFCG). Email: welinagilagrangoiro@gmail.com.

**** Professor Ph.D., Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas – UACA, Universidade Federal de Campina Grande - (UFCG). Email: madson.geotech@gmail.com

Received 10 November; accepted 19 December.

Abstract

Drought is one of the most complex and damaging factors of natural disasters that influence and affect ecosystems in different regions of the world, particularly the northeast of Brazil. The objective of this study was to determine, quantify and monitor the periodicity of dry and rainy events in a microregion of the municipality of Sousa-PB. To this end, the widespread climate index called Standardized Precipitation Index (SPI) was applied, on time scales of 3 and 6, for the period from 1962 to 2019. The monthly precipitation data were provided by the Executive Agency for Water Management (AESAs). To evaluate trends in dry or wet conditions through the Standardized Precipitation Index (SPI) time series for the 3- and 6-month time scales, the Mann-Kendall test was used for the significance level of $\alpha=0.05$. The results obtained indicated that the drought episodes differed in intensity and magnitude in the years studied. At the highest drought concentrations, on the 3 and 6-month SPI time scales, no significant temporal trends were observed. Regarding the frequencies of mild drought occurrences, the highest probabilities occurred on the 3- and 6-month scales. As for the humid trend, light rain was the one with the highest probability of occurrence. Keywords: Drought index, Extreme events, variability

Análise de tendência do índice de precipitação padronizado na microrregião de Sousa-PB

Resumo

A seca é um dos fatores mais complexo e prejudicial dos desastres naturais que influenciam e afetam os ecossistemas de diversas regiões do globo, em particular o nordeste do Brasil. O objetivo deste estudo foi determinar, quantificar e monitorar a periodicidade dos eventos secos e chuvosos numa microrregião do município de Sousa-PB. Para tal aplicou-se o índice climático bastante difundido denominado Standardized Precipitation Index (SPI), nas escalas de tempo de 3 e 6, para o período de 1962 a 2019. Os dados de precipitação mensal foram cedidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs). Para avaliar as tendências das condições secas ou úmidas através das séries temporais de Índice de Precipitação Padronizado (SPI) para as escalas de tempo de 3 e 6 meses, utilizou-se o teste de Mann-Kendall para o nível de significância de $\alpha=0,05$. Os resultados obtidos indicaram que os episódios de seca, diferiram na intensidade e magnitude nos anos estudados. As maiores concentrações de seca, nas escalas de tempo de 3 e 6 meses do SPI, não foi observada tendências temporais significativas. Com relação às frequências de ocorrências de secas leve as maiores probabilidades ocorreram nas escalas de 3 e 6 meses. Quanto a tendência úmida, a chuva leve foi a que apresentou a maior probabilidade de ocorrência.

Palavras-chave: Índice de seca, Eventos extremos, variabilidade.

1. Introdução

Entre todos os desastres naturais, a seca é um dos fatores de influência mais complexo que é impulsionada principalmente pela variabilidade natural do clima e, é caracterizada por

desenvolvimento lento, longa duração e uma ampla gama de influência (Zeng et al., 2022; Zhang et al., 2022). Como consequência das mudanças climáticas globais, a ocorrência de fenômenos climáticos extremos, como a seca, tem se intensificado gradativamente (Qi et al., 2019; Wang et al., 2021). Nas últimas décadas, o aquecimento climático tornou-

se cada vez mais óbvio, inúmeros estudos em todo mundo, enfatizam o impacto negativo do aquecimento global no aumento da frequência de eventos extremos de seca (Ali et al., 2019; Kuriqi et al., 2020; Xu et al., 2021).

No Nordeste do Brasil, episódios de seca são frequentemente associados a fenômenos de grande escala, como El Niño-Oscilação Sul (ENSO) (Ropelewski e Halpert 1987; Grimm 2003; Tedeschi et al. 2015; Cai et al. 2020) e Temperatura da Superfície do Mar (TSM) anomalias no Atlântico tropical (Moura e Shukla 1981; Amorim et al. 2014; Foltz et al. 2019). Esses fenômenos produzem mudanças no sistema atmosférico-oceânico que influenciam o clima do NEB. Durante os episódios de El Niño (EN), há uma tendência à inibição da atividade convectiva sobre o NEB, associada a uma circulação anômala de Walker com seu ramo descendente sobre o NEB e regiões vizinhas, o que leva a uma estação chuvosa mais seca do que o normal do NEB (Chaves e Cavalcanti 2001; Hastenrath 2006; Rodrigues et al. 2011). Por outro lado, durante os episódios de La Niña, a circulação anômala de Walker torna-se invertida, o que resulta em um processo convectivo intensificado sobre o NEB, com maior precipitação associada (Grimm 2004; Manatasa e Mukwada 2017). No entanto, é importante destacar que, embora a grande maioria dos eventos de seca severa na região NEB esteja associada à ocorrência de El Niño, nem sempre é esse o caso (Kane 1997).

Em relação ao Oceano Atlântico, as secas no NEB são observadas quando há a existência simultânea de uma fonte de calor ao norte e de um sumidouro de frio ao sul do Equador (Nobre e Shukla 1996). Tal gradiente meridional controla hidrostáticamente a pressão ao nível do mar e o padrão de vento sobre o Atlântico equatorial, estabelecendo um cenário para um gradiente TSM inter-hemisférico anormalmente íngreme para o norte, componente de vento mais forte do sul e, portanto, migração anômala para o norte da ZCIT e, consequentemente, precipitação deficiente do NEB (Curtis e Hastenrath 1995; Kayano et al. 2013).

Os índices de seca são a base para descrever e quantificar as condições de seca e, são ferramentas úteis para alerta precoce, monitoramento e avaliação da seca (Wu et al., 2022; Zargar et al., 2011). Como os gatilhos para a ocorrência de seca são complexos e estão relacionados a múltiplos fatores, os índices de seca geralmente são calculados assimilando um ou mais parâmetros climáticos, hidrológicos e

meteorológicos, como precipitação, vazão, radiação, temperatura, entre outros (Hao & Singh, 2020). Atualmente, existe um grande número de diferentes índices de seca, incluindo alguns dos mais comumente usados, como o Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965), o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) (McKee et al., 1993), e o Índice de Evapotranspiração de Precipitação Padronizada (SPEI) (Vicente-Serrano et al., 2010).

Vários estudos focaram no desenvolvimento e melhoria de vários índices de seca, alcançando resultados promissores (Brown et al., 2008; Liu et al., 2020; Zeng et al., 2022). Entre eles, o SPI e o SPEI podem ser calculados com base em escalas de tempo mais longas para refletir as condições de seca agrícola e hidrológica (Russo et al., 2013; Wang et al., 2021). O SPI quantifica principalmente a seca refletindo os déficits de precipitação acumulada (McKee et al., 1993). Sua simplicidade e método de cálculo de escala multitemporal fizeram do SPI um dos índices meteorológicos de seca oficialmente recomendados por muitas agências nacionais de serviços meteorológicos (Dabanlı et al., 2017; Patel et al., 2007). Vários estudos adaptaram o SPI para melhorar e/ou desenvolver novos índices de seca (Koutroulis et al., 2010; Tsakiris et al., 2007).

Neste sentido, a escolha da Microrregião de Sousa se deu pelo fato de a mesma estar inserida no polígono de secas no Nordeste brasileiro (NEB), devido às suas características físicas. Assim sendo, o estudo tem por finalidade identificar a variabilidade espaço temporal de eventos de secos e chuvosos ocorridas nas microrregiões no período de 1962 a 2019 mediante aplicação do índice SPI, assim como determinar a tendência de séries temporais de Índice de Precipitação Padronizado (SPI) nas escalas de tempo de 3 e 6 meses, utilizando o teste de Mann-Kendall para o nível de significância de $\alpha = 0,05$.

2. Material e métodos

Área de estudo

O presente estudo foi realizado na microrregião de Sousa (Figura 1), que pertence à mesorregião do Sertão Paraibano, localizado no Estado da Paraíba. Essa região possui uma área total de 4.784,729 km², com população estimada em 176.859 habitantes residentes em dezessete municípios (IBGE, 2017).

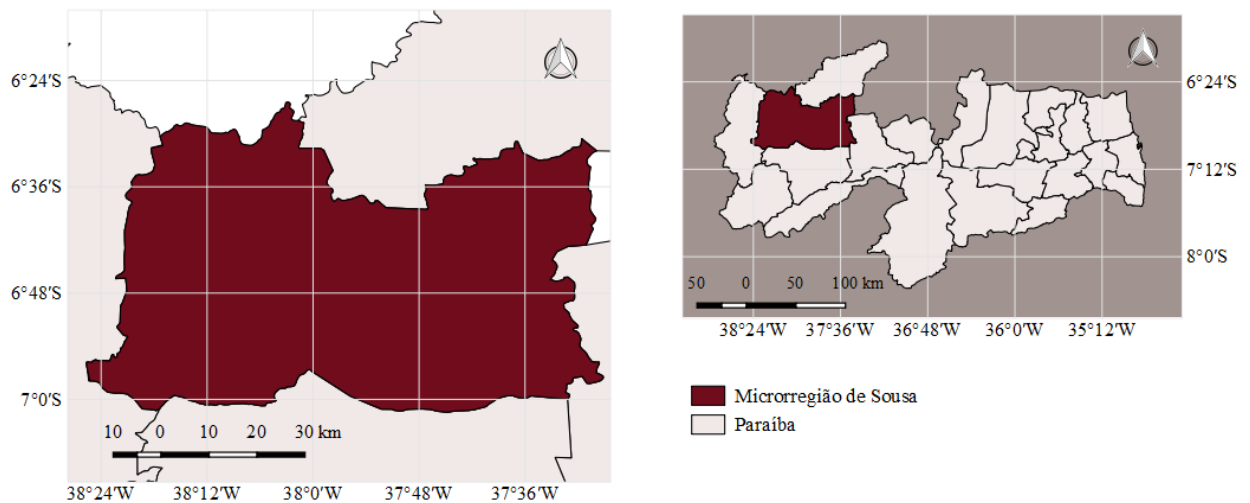


Figura 1. Localização da área de estudo na região Nordeste do Brasil.

O clima da microrregião de Sousa-PB, que está inserida no Sertão do Estado, é do tipo Aw marcante, semiúmido, ou seja, clima de savana segundo a classificação de Köppen-Geiger, cujas principais características relacionam-se às elevadas temperaturas com chuvas de verão e outono (Francisco, 2017).

Analisando a microrregião de Sousa, constata-se que a mesma apresenta dois períodos distintos de chuva: um período de cinco meses chuvosos e outro de sete meses secos. O período

chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a maio, sendo o mês de março o de maior concentração de precipitada média de 206,14mm. Em contrapartida, o período seco ocorre entre os meses de junho a dezembro, sendo setembro o mês mais seco, com precipitação média de 3,22 mm. A Figura 2, apresenta a variabilidade espacial da precipitação na região. Observa-se que os maiores valores ficam entre 830 a 968 mm ocorrem no Sudoeste. Já os valores mínimos, entre 700 e 600mm, são encontrados em diferentes locais da microrregião.

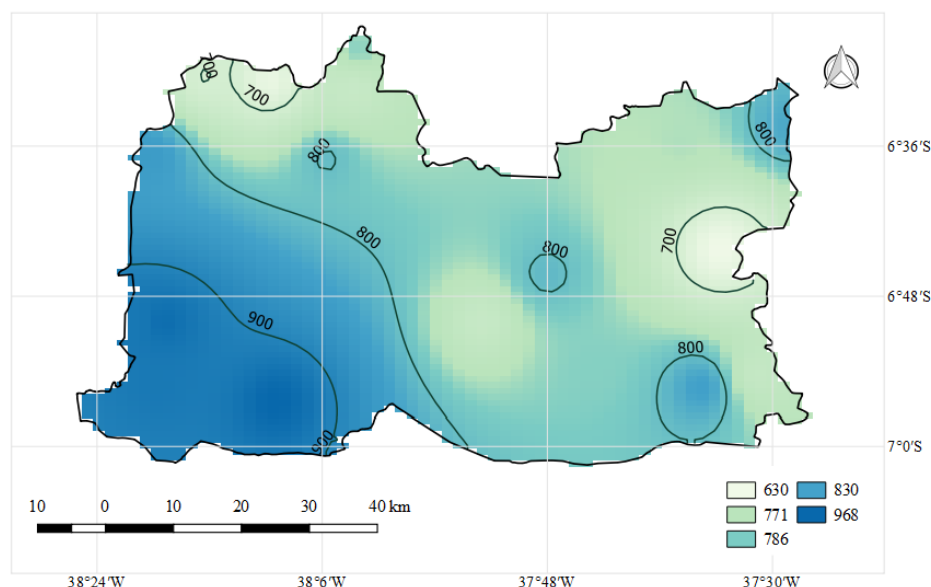


Figura 2: Distribuição espacial da precipitação da Microrregião de Sousa no período de 1962 a 2019.

Dados

Os dados mensais utilizados no cálculo do SPI são provenientes de séries de precipitação de 9 postos

pluviométricos em um período de 57 anos, de 1962 a 2019, para a Microrregião de Sousa (Figura 1). Esses dados foram obtidos da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs). No estudo foram avaliadas as

condições de seca usando a técnica do Índice Padronizado de Seca de McKee et al., 1993, na escala de tempo de três e seis meses (SPI-3 e SPI-6).

Índice de Precipitação Padronizada (SPI)

O SPI é uma ferramenta bastante utilizada para avaliar flutuação da precipitação em diferentes escalas de tempo de um determinado local ou região. O mesmo foi desenvolvido por McKee et al. (1993) com o objetivo de monitorar e analisar a seca em diferentes escalas de tempo, apenas usando dados mensais da precipitação. O cálculo do SPI consiste inicialmente em ajustar uma função densidade de probabilidade à distribuição de frequência da precipitação. A seguir a precipitação é transformada em valores numéricos normalizados e o SPI é dado como o número de desvios padrão pelos quais a precipitação observada se desvia da média de longo prazo para uma variável aleatória normalmente distribuída (equação 1). Assim, pode ser usado para definir e comparar as condições de seca em diferentes áreas.

O cálculo do SPI consiste inicialmente em ajustar uma função densidade de probabilidade à distribuição de frequência da precipitação de uma determinada localidade. Na literatura existe várias distribuições de probabilidade para representar um conjunto de dados. Dentre elas a mais frequente utilizada para representar os dados de precipitação, é a distribuição Gama (Wilks, 2006). A função densidade de probabilidade Gama é dada pela seguinte expressão:

$$g(x; \alpha, \beta) x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \text{ para } x > 0 \quad (1)$$

Em que:

$\alpha > 0$ (parâmetro de forma)

$\beta > 0$ (parâmetro de escala)

$x > 0$ (quantidade de precipitação)

$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$ (função Gama)

Os parâmetros acima são estimados considerando-se especificidades como, por exemplo, a estação e a escala temporal escolhida pelo pesquisador. Segundo Thom (1966), citado por Edwards e McKee (1997), as equações (2) e (3) podem ser utilizadas para uma estimativa de $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$, a partir do método da máxima verossimilhança:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (3)$$

Em que $\bar{x}$ é a média aritmética da precipitação e n número de observações da série de precipitação

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x) \quad (4)$$

Então, estimados $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$, calcula-se a distribuição de probabilidade acumulada de um evento de precipitação num dado período de tempo. A distribuição de probabilidade acumulada é dada por:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (5)$$

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (6)$$

Conforme definição, a função Gama não admite valores nulos. No entanto, essa variável pode conter valores de x iguais a zero. Nesses casos, para obter a probabilidade cumulativa mista de precipitação:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (7)$$

O índice utilizado fornece uma estimativa boa e confiável da magnitude, severidade e extensão espacial das secas. Quando a precipitação está acima do valor médio de longo prazo, o SPI é positivo e se a precipitação cai abaixo da média de longo prazo, o SPI é negativo. Ao contrário de outros índices de seca, o SPI é menos complicado de usar porque requer apenas uma única série de dados de entrada de precipitação de longo prazo (Smakhtin; Schipper, 2008; Wilks, 2006). Por se basear em dados normalizados, o SPI é espacialmente invariante e as secas podem ser avaliadas em diferentes regiões (Guttman, 1998). O índice é calculado da seguinte forma:

$$SPI = Z_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (8)$$

Onde, X_i é a precipitação do período selecionado durante o ano i , $\bar{X}_i$ é a precipitação média de longo prazo e σ_i é o desvio padrão para o período selecionado.

Na Tabela 1 constam as categorias de SPI de acordo com o descrito por McKee et al. (1993). Neste estudo foi calculado o SPI nas escalas de tempo que melhor represente o monitoramento da escassez e/ou dos excessos de precipitação (regime de chuva) da Microrregião de Sousa.

Tabela 1. Caracterização dos eventos secos e chuvosos segundo o SPI

Valor do SPI	Categoria
> 2,00	Chuva Extrema
1,51 a 2,00	Chuva Severa
1,01 a 1,50	Chuva Moderada
0,51 a 1,00	Chuva Fraca
-0,50 a 0,50	Normal
-0,51 a - 1,00	Seca Fraca
-1,01 a - 1,50	Seca Moderada
-1,51 a - 2,00	Seca Severa
< -2,00	Seca Extrema

Fonte: adaptado de McKee et al. (1995)

A compreensão das características de um evento de seca requer uma ampla informação atual e histórica das condições meteorológicas e hidrológicas de uma determinada região. Essa compreensão, se torna imprescindível para identificar as áreas propensas a esse evento, reconhecer as condições de seca emergente e antecipar informações sobre o estado hídrico das regiões (Gonçalves et al., 2021).

Mann-Kendall

O teste paramétrico de Mann Kendall é derivado dos estudos propostos por Mann (1945) e Kendall (1975), sendo amplamente utilizado na análise de tendências de secas hidrológicas e meteorológicas (Guedes, et al., 2019). Esse teste verifica a existência de uma tendência em uma determinada serie temporal, identificando eventuais variações nas tendências ao longo do tempo além detectar os possíveis pontos de mudança na série do SPI.

A estatística usada é calculada dada uma série temporal $t_1, t_2, \dots, t_n$ e sua sequência de dados correspondentes $x_1, x_2, \dots, x_n$, sendo n o número de pontos de dados. A hipótese nula do teste indica uma amostra com variáveis aleatórias e identicamente distribuídas, enquanto a hipótese alternativa indica distribuições não idênticas para X_t e X_j (Kazemzade; Malekian, 2018), calculado como:

$$S = \sum_{i=j}^{n-1} \sum_{j=1+i}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

em que: x_i e x_j são valores de dados para os anos; n o número de pontos de dados usados, i e j ($j > i$),

respectivamente, e $\text{sgn}(x_j - x_i)$ é a função do sinal, dada como:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

A variância dessa distribuição é calculada pelas Equações 4 e 5:

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

Em que: p é o número de grupos empatados, o sinal de soma (p) indica a soma de todos os grupos vinculados, e t_i é o número de valores no grupo (Piyoosh; Ghosh, 2017).

$$Z_s = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Em que: Z caracteriza se existe tendência no teste para os dados utilizados. Os valores Z positivos indicam uma tendência crescente e os valores Z negativos indicam uma tendência decrescente. Se o valor de Z for 0, não há tendência.

O Tau Kendall (Kendall, 1938, Kendall, 1948) mede a força da relação monotônica entre x e y . O coeficiente de correlação tau de Kendall é dado por:

$$\tau = \frac{x_i - x_j}{i - j} \text{ for all } j < i \quad (5)$$

3. Resultados e discussão

A seguir são apresentados e discutidos os resultados da aplicação do SPI para os dados mensais de precipitação para a Microrregião de Sousa-PB. Na

Figura 3, pode-se observar a variabilidade do SPI-3 e SPI-6 na Microrregião de Sousa durante o período de 1962 a 2019, nas escalas de tempo de 3 meses e 6 meses. Os valores do SPI-3 e SPI-6 designam condições de seca de curto prazo caracterizando secas meteorológicas e agrícolas. De maneira geral, é possível verificar a presença do fenômeno conforme o índice (valores $\leq -0,5$) em todos os anos analisados, porém com magnitudes diferentes para cada SPI.

É importante salientar que a Microrregião de Sousa, tem sua concentração de chuvas entre janeiro e

maio, visto que seu maior índice pluviométrico ocorre no mês de março. O regime de chuvas da região do sertão nordestino, principalmente no interior estão associadas aos efeitos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e efeitos orográficos locais (Gan e Kousky, 1986; Ferreira e Mello, 2005).

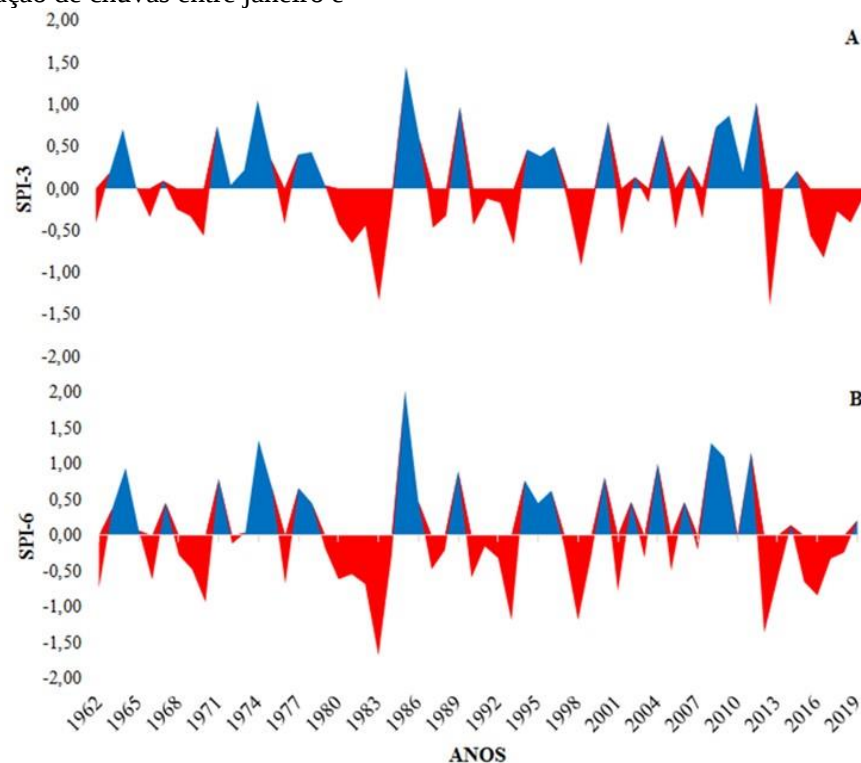


Figura 3. Variabilidade anuais do SPI-3 (A) e SPI-6 (B) para a Microrregião de Sousa no período de 1962 a 2019.

É perceptível que para a microrregião os valores do SPI-3 e SPI-6 oscilam em torno da linha da escala zero, retratando as condições alternadas de seca ao longo do período estudado. A maior ocorrência é caracterizada por períodos levemente secos e moderadamente secos, sendo possível apenas observar períodos secos mais intensos a partir da década de 70 (menores valores dos SPI 3 e 6). De forma geral, os anos de 1981, 1993, 1998, 1999, 2013 e 2018 destacaram-se por apresentar os menores valores do SPI-3, com pico máximo negativo do SPI-3 de -2,57 em 2013. Para o SPI-6 os anos com menores valores são 1981, 1984, 1999 e 2013, cujos valores observados em torno de -1,3. Ressaltando que o SPI-6 apresentou os mais e maiores picos de seca que o SPI-3, com ocorrência de maior pico negativo de -2,56 em 1999. Isso evidencia que o regime de chuvas se concentra principalmente no trimestre mais chuvoso.

Da Silva et al (2021) encontrou resultados semelhantes na Sub-Bacia Choró no Ceará, para as

escalas SPI-3 e SPI-6, mostraram que os principais eventos de seca aconteceram nos anos de 1983, 1992/1993, 1997-1999, 2012/2013, 2015/2016, categorizando condições Severamente e Extremamente Secas.

Uma das principais características, quando se avalia as séries temporais do SPI é sua variabilidade espaço-temporal, a qual indica que, numa mesma região, a exemplo, desta avaliada (microrregião de Sousa) são os meses úmidos ou normais serem precedidos e seguidos de meses extremamente secos, e alguns episódios secas podem acontecer de forma imprevisível entre as localidades, num mesmo período como o observado na Figura 3.

Junqueira et al. (2020) em estudo semelhante, analisaram a distribuição espacial e temporal da ocorrência e intensidade das secas meteorológicas e hidrológicas usando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) e o Índice de Vazão Padronizada (SSFI) em escala anual e trimestral na Bacia do Rio

Tocantins, constataram que as secas mais severas foram observadas em 1997/98, 2015/16 e 2016/17, corroborando com o encontrado no estudo.

A microrregião de Sousa caracteriza-se como uma das mais secas por retratar uma considerável concentração de episódios de seca, por estar inserida no polígono das secas, a mesma em média pode passar sete meses sem ocorrência de precipitação conforme figura 3. De fato, no semiárido brasileiro, os eventos de seca registrados no período de 2010-2016 foram marcantes, e ocasionaram impactos socioeconômicos e ambientais consideráveis (Buriti; Barbosa, 2020). Lima et al. (2019) utilizando o Índice Padronizado de Precipitação e evapotranspiração - SPIE para a cidade de Natal-RN, observaram que as regiões mais secas do estado se localizam no litoral setentrional, onde se tem um bom volume de precipitação, no entanto, o trecho é considerado o mais seco de toda a costa brasileira. Corroborando com os resultados encontrados no estudo. Cunha et al. (2018) a partir do Índice Padronizado de Precipitação-SPI apresentaram padrão espacial de episódios de seca severa do período de 1982 a 2013 (30 anos) na região Nordeste. Os resultados permitiram verificar características bastante particular da seca, e, sua capacidade de tornar-se mais evidente perante ocorrências de eventos de El Niño.

Já o estudo realizado por Fachine (2015) identificou as secas meteorológicas na região Metropolitana de Fortaleza, utilizando o índice SPI. A pesquisa foi conduzida considerando um período de quatro meses, correspondendo aos meses de fevereiro a maio. Os eventos de seca identificados pelo índice foram relacionados com os fenômenos El Niño, La Niña, Dipolo do Atlântico Tropical e com a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Verificou-se que a maioria dos eventos de seca ocorreram durante os anos em que o fenômeno El Niño estava presente, juntamente com gradientes meridionais de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM).

A partir dos valores positivos do SPI indicados na Figura 3, observou-se que os maiores picos úmidos ocorreram nos anos de 1985, 1990, 2000, 2002, 2004, 2008, 2009 e 201, com pico superior 2,0 tanto para o SPI-3 quanto para o SPI-6.

Nesse contexto, José et al. (2022) avaliaram a distribuição espacial do risco climático referente à seca para a atividade agrícola nas mesorregiões da Bahia. Os autores observaram tendências de diminuição das chuvas locais e altas condições de vulnerabilidades dos agricultores das regiões seca, e,

quanto um evento de múltiplas proporções, pode agravar risco, as condições de vulnerabilidades locais.

Wable et al. (2019) respaldam que para as secas de curto prazo, existe a continuidade de eventos secos e úmidos com o decorrer do tempo, colaborando na identificação de ambos. Via de regra, é válido destacar que a microrregião exibe basicamente o mesmo padrão de variabilidade, diferindo na intensidade e magnitude do evento extremo. Vale respaldar que a diminuição na precipitação tem propiciado, portanto a quantidade de períodos secos, assim como o aquecimento de diversas regiões, mostrando-se mais evidente em localidades semiáridas do Nordeste, na qual a região da Paraíba encontra-se inserida.

Análise de tendência

A tendência monótona crescente ou decrescente na precipitação anual é testada com o teste não paramétrico de Mann-Kendall (estatística Z) e, em segundo lugar, a inclinação de uma tendência linear é estimada com o método não paramétrico de Sen (1968).

Rahman et al. (2018) utilizaram informações de 15 estações pluviométricas em uma província do Paquistão e realizaram uma avaliação de tendência dos índices SPI-1 e SPI-12 ao longo do tempo. Foi aplicado o teste de Mann-Kendall para analisar tanto as tendências nas precipitações quanto nas secas em todos os meses. Os resultados mostram que as secas de curto e longo prazo são similares, de modo que para as secas de curto prazo, o sudoeste apresentou tendências positivas em todos os meses, enquanto nordeste teve maioria de tendências negativas. O padrão espacial foi mantido para as secas de longo prazo, mas no geral, os resultados apontam que a tendência geral sobre a área de estudo é positiva.

Ao analisamos os resultados do teste de Mann-Kendall presente na tabela 2, foi detectada ausência de tendência significativa da variabilidade para os SPI-3 e SPI-6, com valor-p de 0,648 e 0,877 respectivamente. Essa variabilidade, portanto, é uma característica inerente a condições adversas (localização geográfica, influência oceânica, condições atmosféricas), típicas da região de clima tropical semiárido ou não, necessariamente a mudança do comportamento da chuva, havendo anos mais chuvosos e outros menos, com grande variabilidade temporal mensal e anual.

Tabela 2 - Resultado do teste não-paramétrico de Mann-Kendall aplicado a microrregião de Sousa para os SPI's 3 e 6 no período de 1962-2019.

SPI	Tau de Kendall	p-valor	Inclinação de Sen
3	-0,042	0,648	-0,002
6	-0,015	0,877	-0,001

No geral, a tendência observada na tabela 2 não foi significativa ao nível de confiança de 95%. A inclinação do Sen estimada foi de -0,002 para SPI-3 e -0,0007 considerando o SPI-6, o que significa que a precipitação tem uma tendência decrescente.

Zarei e Eslamian (2017) avaliaram as tendências das chuvas e das secas sobre regiões áridas do Irã utilizando testes paramétricos e não paramétricos (1985–2013). Quanto ao padrão da precipitação, os resultados indicam que a nível mensal poucos postos apresentaram tendência estatisticamente significativa, mas a nível sazonal, foram encontradas tendências negativas em todas as estações do ano, com destaque para o verão e o outono. Em relação à análise das secas, os resultados indicam que existiram anos consideravelmente secos ao decorrer do período, mas esses eventos não influenciaram o aparecimento de tendências, tal que apenas duas estações apresentaram significância estatística relevante.

Rao et al. (2016), avaliaram as tendências sazonais das chuvas sobre o Brasil ao longo de 30 anos e indicaram que a precipitação nos períodos mais chuvosos e secos sobre o estado da Paraíba aumentarão e com isso os eventos tenderão a ser mais úmidos. Medeiros et al. (2018), por sua vez, avaliaram as tendências da chuva no Sertão Paraibano (1912–2012) e concluíram que as chuvas têm tendências positivas, especialmente ao avaliar escalas de tempo anuais e semestrais. Notoriamente, esses não foram os resultados obtidos neste estudo e isso pode estar relacionado ao período de estudo empregado utilizado. De fato, é importante pontuar que o período dos dados influencia na avaliação de tendências e que a o período de dados empregado nesta pesquisa difere bastante dos desses trabalhos.

Além disso, recentemente ocorreu um dos períodos de seca mais severos dos últimos tempos e isso pode ter influenciado na distribuição espacial das declividades de Sen. Marengo et al. (2017) apontaram que dos 21 eventos de secas mais severos que atingiram o Nordeste desde 1900, seis estão inseridos no período de análise do nosso estudo, com destaque especial para os anos de 1997–1998 e 2012–2015. Este último evento mais recente que atingiu a região Nordeste, fez com que quase 1000 cidades decretassem estado de emergência e impulsionou conflitos sociais e econômicos. Nesse sentido, um dos motivos que pode ter influenciado as declividades negativas tão expressivas foi o aparecimento desse

evento de seca nos últimos anos. Além disso, conforme discutido por Pascoa et al. (2017) e Guo et al. (2018a), nota-se que quanto menor o período dos dados, mais expressivas tendem a ser as declividades de tendências das séries.

Conclui-se que a análise de tendências das secas e de suas principais características é um tema ainda pertinente na literatura, devido não só ao potencial extensivo das secas, assim como à necessidade dos estudiosos de entender quais são as tendências desses fenômenos. Por outro lado, diante da variabilidade das características naturais encontradas em nosso planeta e da importância da identificação de zonas com comportamento homogêneo, métodos de agrupamento estão sendo desenvolvidos ao longo dos anos no intuito de viabilizar a regionalização de diferentes áreas com base em características similares e assim, entender melhor o comportamento espaço-temporal das secas e de outros fenômenos climáticos entre as diferentes regiões do planeta.

Probabilidade de ocorrência de diferentes categorias de período úmido e seco

Na Tabela 3 consta a probabilidade de ocorrência das várias categorias de períodos úmidos e secos na microrregião de Sousa. Os resultados obtidos para o SPI-3 mostram que o período de seca fraca apresenta maior percentual e probabilidade de ocorrência de 33,7% de 1 a cada 1,7 anos. Isso é seguido pelo período de chuva fraca com porcentagem e probabilidade de ocorrência de 24,8% 1 em cada 2,3 anos. O período de chuva extrema apresentou a menor porcentagem, 1,0%, e probabilidades de ocorrência de 1 em cada 57 anos, quanto a categoria de seca extrema não teve ocorrência no período estudado.

Para o SPI-6, os resultados ilustrados na Tabela 3, revelaram que a categoria de seca fraca apresentou a maior porcentagem e probabilidade de ocorrência. Observa-se que no SPI-6, os períodos úmidos obtiveram 41,5% de ocorrência, e os eventos severamente úmidos, especificamente, apresentaram a menor porcentagem (2,0%) e probabilidade de ocorrência de 1 em 28,5 anos. Enquanto os períodos secos totalizaram 42,6% com intensidades variadas. A persistência de períodos de seca requer atenção, visto que, os eventos menos intensos de secas podem se desenvolver para mais intensos, de acordo com a atuação de fenômenos externos (Nascimento, et al,

2017), o que pode contribuir com agravamentos dos setores hídricos.

Na África do Sul, Botai et al. (2017) empregaram o SPI-3, SPI-6 e SPI-12 para avaliar as características das secas e suas tendências (1985–2016) e os resultados mostram que há grande variabilidade espaço-temporal quanto à magnitude das tendências das secas. Nas zonas sul e oeste, os eventos foram mais frequentes, duradouros, severos e intensos. Além disso, o estudo mostrou que com o aumento da escala temporal também há aumento na duração, severidade e intensidade dos eventos de secas de longo

prazo e que esses valores são mais expressivos do que os das secas de curto prazo.

Li et al. (2019a) monitoraram as secas no nordeste da China utilizando quatro índices (1960–2010). Ao avaliar o padrão das secas em múltiplas escalas temporais, foi possível perceber que em escalas temporais intermediários, 7–18 meses, os índices de seca apresentaram melhor correlação e conformidade entre si, como discutido por Wable et al. (2018). O estudo concluiu que o SPI foi o mais confiável para monitorar as secas na região, especialmente o SPI-12.

Tabela 3 - Probabilidade de ocorrência de categorias dos eventos secos e chuvosos do SPI para as escalas de SPI-3 e SPI-6.

SPI-3	Categoria	Número de tempo em 57 anos	Porcentagem de ocorrência	Severidade dos eventos
>2,00	Chuva Extrema	1	1,0	1 em 57 anos
1,51 a 2,00	Chuva Severa	2	2,0	1 em 28,5 anos
1,01 a 1,50	Chuva Moderada	12	11,9	1 em 4,7 anos
0,51 a 1,00	Chuva Fraca	25	24,8	1 em 2,3 anos
-0,51 a 0,50	Normal	18	17,8	1 em 3,1 anos
-0,51 a -1,00	Seca Fraca	33	32,7	1 em 1,7 anos
-1,01 a -1,00	Seca Moderada	7	6,9	1 em 8,1 anos
-1,51 a -2,00	Seca Severa	3	3,0	1 em 19 anos
< -2,00	Seca Extrema	0	0,0	Sem ocorrência

SPI-6	Categoria	Número de tempo em 57 anos	Porcentagem de ocorrência	Severidade dos eventos
>2,00	Chuva Extrema	0	0,0	Sem ocorrência
1,51 a 2,00	Chuva Severa	3	4,6	1 em 19 anos
1,01 a 1,50	Chuva Moderada	5	7,7	1 em 11,4 anos
0,51 a 1,00	Chuva Fraca	19	29,2	1 em 3 anos
-0,51 a 0,50	Normal	10	15,4	1 em 5,7 anos
-0,51 a -1,00	Seca Fraca	22	33,8	1 em 2,6 anos
-1,01 a -1,00	Seca Moderada	5	7,7	1 em 11,4 anos
-1,51 a -2,00	Seca Severa	1	1,5	1 em 57 anos
< -2,00	Seca Extrema	0	0,0	Sem ocorrência

Fonte: Autores (2023)

Recentemente Da Silva et al. (2020) analisaram casos/anos de eventos secos e chuvosos no período de 1961 a 2014, para o leste do Nordeste do Brasil através do índice SPI. A análise inclui escalas temporais (3, 6, 9, 12 e 48), fornecendo informações mais detalhadas sobre as tendências das condições climáticas (secos e chuvosos) na localização estudada. O SPI-3 e SPI-6 indicam tendências sazonais em médio prazo na precipitação (pode estar associado a fluxos anômalos e níveis de reservatórios), SPI-12, SPI-24 e SPI-48 que pode ser usado como um indicador para redução da recarga do reservatório e da

água subterrânea, todos mostram tendência negativa (Svoboda, Hayes & Wood, 2012).

No âmbito nacional, destacam-se os trabalhos realizados por: Silva et al. (2020), Gandu et al. (2015), Fechine (2015), Macedo et al. (2011) e Blain et al. (2010) que aplicaram o SPI na monitorização e caracterização das secas em diferentes estados do Brasil, utilizando uma escala regional adaptada para as diferentes áreas de estudo. O trabalho desenvolvido por Silva et al. (2020) utilizaram o SPI para caracterizar eventos extremos e suas causas climáticas no Leste do Nordeste brasileiro. Os resultados

encontrados mostraram que SPI foi capaz de quantificar os eventos de seca ou de chuvas abundantes, bem como monitorar a precipitação, revelando-se uma ferramenta eficaz para ser adotada na mitigação das secas.

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos da aplicação do SPI as séries mensais de precipitação na microrregião de Sousa, pôde-se concluir que:

As oscilações da precipitação nas diferentes escalas de tempo, podem estar mais associadas a variabilidade natural do que as mudanças climáticas, tomando-se como base a microrregião do semiárido brasileiro;

A análise de tendência realizadas obtida a partir do teste de Mann-Kendall possibilitou monitorar as séries históricas mensais de precipitação da Microrregião de Sousa. A partir do teste foi possível detectar que as séries não apresentaram tendência, pois não se observou crescimento ao longo do tempo. No entanto, sugere-se que existe uma tendência significativa nas séries temporais quando se leva em consideração a sazonalidade de 3 e 6 meses;

De acordo com o teste de tendência observou-se que os períodos secos dominam na escala de tempo de 3 meses e que a seca leve teve maior probabilidade de ocorrência nas duas escalas de 3 e 6 meses dos SPI analisados. Quanto a tendência úmida, a chuva leve apresentou a maior probabilidade de ocorrência. O aumento da temperatura no período seco é motivo de grande preocupação, favorecendo um aumento da evapotranspiração afetando, portanto, o rendimento das culturas. É importante ressaltar que os resultados obtidos neste estudo podem servir de apoio para monitoramento de cheias e secas na região.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, pela contribuição no ensino e estrutura, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio e suporte financeiro concedido.

Referências

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas. 2023. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>.
 Ali, R., Kuriqi, A., Abubaker, S., Kisi, O. 2019. Hydrologic alteration at the upper and middle part of the Yangtze River, China: towards sustainable water resource management under increasing water exploitation. *Sustainability*, v.11, n. 19, p. 5176. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11195176>
 Amorim, A. C. B., Chaves R. R., Santos e Silva C. M. 2014. Influence of the tropical Atlantic ocean's sea

surface temperature in the eastern Northeast Brazil precipitation. *Atmos Clim Sci*, v.4, n.5, p. 874–883. DOI: 10.4236/acs.2014.45077
 Botai C.M., Botai J.O., Wit J.P., Ncongwane K.P. E Adeola A.M. 2017. Drought characteristics over the Western Cape Province, South Africa. *Water*, v.9, n.11, p.876–89. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9110876>
 Brown, J. F., Wardlow, B. D., Tadesse, T., Hayes, M. J., & Reed, B. C. 2008. The vegetation drought response index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience & Remote Sensing*, v. 45, n.1, p.16–46. DOI: <https://doi.org/10.2747/1548-1603.45.1.16>
 Buriti, C.O., Barbosa, H.A., Paredes-Trejo, F. J., Kumar, T.V. L., Thakur, M. K., Rao, K. K. 2020. Um Século de Secas: Por que as Políticas Hídricas não Transformaram a Região Semiárida Brasileira? *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.35, n.4, p. 683-688. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863540073>
 Cai, W., Mcphaden M. J., Grimm A. M., Rodrigues R. R., Taschetto A. S., Garreaud R., et al. 2020. Climate impacts of the El Niño-Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 1, n.4, p. 215–231. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>
 Chaves R. R., Cavalcanti I. F. A. 2001. Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over Southern Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 129, n. 10, p. 2614–2626. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<2614:ACFAWR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<2614:ACFAWR>2.0.CO;2)
 Cunha, A. P. M. A.; Tomasella, J.; Ribeiro-Neto, G.G.; Gracia, M. B. S. R.; Brito, S. B.; Carvalho, M. A. 2018. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, v. 19, n. 10, p. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1002/asl.855>
 Curtin, S., Hastenrath, S. 1995. Forcing of anomalous sea surface temperature evolution in the tropical Atlantic during Pacific warm events. *Journal of Geophysical Research*, v.100, n.8, p.15835-15847. DOI: <https://doi.org/10.1029/95JC01502>
 Da Silva, D. F., Lima, M. J. S., Souza Neto, P. F., Gomes, H. B., Silva, F. D. S., Almeida, H. R. R. C., & Pereira, M. P. S. 2020. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.2, p.449-464. DOI:10.26848/rbgf.v13.2.p449-464
 Da Silva, G.K.; Júnior, A. D. M.; Lima, C. E. S.; Silva, M. V. M.; Silveira, C. S.; Silva, E. M.; Lima, I. R. 2021. Análise da Variabilidade Espaço-Temporal do SPI: Um Estudo de Caso para a Sub-Bacia

- Choró, Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, n. 3, p.539-549. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863630005>
- Dabanli, İ., Mishra, A. K., & Şen, Z. 2017. Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, v.552, p.779–792. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.038>
- Fechine, J.A.L. 2015. Identificação de secas meteorológicas na região metropolitana de Fortaleza, usando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). *Boletim de Geografia*, v. 33, n. 2, p.1-18. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v33i2.22671>
- Ferreira, A. G; Mello, N. G. S. 2005. Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, p. 15-28. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>
- Foltz, G. R., Brandt, P., Richter, I, Rodríguez-Fonseca, B., Hernandez, F. et al. 2019. The tropical Atlantic observing system. *Frontiers in Marine Science*, v.6, p.1-36. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00206>
- Francisco, P. R. M.; Santos, D. 2017. *Climatologia do Estado da Paraíba, Campina Grande: ADUFCG*, 75p.
- Gan, M. A.; Kousky, V. E. 1986. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 1, 19-28.
- Gandu, A.W.; Silva, R.F.; Martins, E.S. 2015. Drought identification in Ceará state using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Proceedings of the VI Simpósio Internacional de Climatologia*, Natal, Brazil, p.13-16.
- Gonçalves, S. T. N., Junior, F. C. V., Sakamoto, M. S., Silveira, C. S., Martins, E. S. P R. 2021. Índices e Metodologias de Monitoramento de Secas: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.36, n.3, p.495-511. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863630007>
- Grimm A. M. 2003. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, v.16, n.2, p.263–280. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2)
- Grimm, A.M. 2004. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil?. *Climate Dynamics*, v.22, p.123–138. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0368-7>
- Guedes, H. A. S., Priebe, P. S., Manke, E. B. 2019. Tendências em Séries Temporais de Precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.34, n.2, p.283–291. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786334023>
- Guo H., Bao A., Liu T., Jiapaer G., Ndayisaba F., Jiang L., Kurban A., De Maeyer P. 2018a. Spatial and temporal characteristics of droughts in Central Asia during 1966–2015. *Science of the Total Environment*, v.624, p.1523–1538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.120>
- Guttman, N.B. 1998. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association*, v.34, n.1, p.113-121. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x>
- Hao, Z., Li, W., Singh, V. P., Xia, Y., Zhang, X., & Hao, F. 2020. Impact of dependence changes on the likelihood of hot extremes under drought conditions in the United States. *Journal of Hydrology*, v.581, n.124410. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124410>
- Hastenrath S. 2006. Circulation and teleconnection mechanisms of Northeast Brazil droughts. *Progress in Oceanography*, v.70, n. 2-4, p. 407-415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2005.07.004>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. *Contagem da população 2017*. Brasília: IBGE. s.p.
- José, R. V.S., Coltri, P. P., Greco, R., Souza, I. S., Souza, A. P.S. 2022. Hazard (seca) no semiárido da Bahia: Vulnerabilidades e Riscos climáticos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.15, n.4, p.1978-1993. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbge.v15.4.p1978-1993>
- Junqueira, R., Viola, M.R, Mello, C.R., Vieira-Filho, M., Alves, M. V.G., Amorim, J. S. 2020. Índices de severidade de seca para a Bacia do Rio Tocantins, Brasil. *Theoretical and Applied Climatology*, n.141, p.465–481. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03229-w>
- Kane, R.P. 1997. Prediction of droughts in North-East Brazil: role of ENSO and use of periodicities. *International Journal Climatology*, v.17, n.6, p.655–665. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199705\)17:6<655::AID-JOC144>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199705)17:6<655::AID-JOC144>3.0.CO;2-1)
- Kayano M. T, Andreoli R. V, Souza R. A. F. 2013. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South America Rainfall. *International Journal Climatology*, v.33, n.8, p.2008-2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3569>
- Kazemzadeh, M., Malekian, A. 2018. Homogeneity analysis of streamflow records in arid and semi-arid regions of northwestern Iran. *Journal of Arid Land*, v.10, p.493–506. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0064-4>
- Kendall, M. G. 1948. Rank correlation methods. Griffin.

- Koutroulis, A., Vrochidou, A.-E., & Tsanis, I. 2010. Spatiotemporal characteristics of meteorological drought for the island of crete. *Journal of Hydrometeorology*, v.12, n.2, p.206–226. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010JHM1252.1>
- Kuriqi, A., Gambini, J.M., Gupta, V., Malik, A., Pham, Q.B. 2020. Seasonality shift and streamflow variability trends in Central India. *Acta Geophys*, v.68, p.1461–1475. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00475-4>
- Li F., Li H., Lu W., Zhang G. E Kim J.-C. Meteorological drought monitoring in Northeastern China using multiple indices. *Water*, v.11, n.1, p.72–88, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11010072>
- Lima, S. L.; Silva, M. T.; Sousa, W.G.; SIQUEIRA, M.S.; Andrade, A.S.; Melo, M. M. M. S. 2019. Space and temporal episode standards dry in the State of Rio Grande do Norte. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.9, n.6 p.330-342. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v9.n6.p330-342>
- Liu, X. F., Feng, X. M., Ciais, P., Fu, B. J., Hu, B. Y., & Sun, Z. L. 2020. GRACE satellite-based drought index indicating increased impact of drought over major basins in China during 2002–2017. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.291, n.11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108057>
- Macedo, M.J.H.; Guedes, R.V.D.S.; Sousa, F.D.A.S. 2011. Monitoramento e intensidade das secas e chuvas na cidade de Campina Grande/PB. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 8, p. 105-117. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v8i0.25797>
- Manatasa, D., Mukwada, G. 2017. A connection from stratospheric ozone to El Niño-Southern Oscillation. *Sci Rep*, v.7, n.1, p.5558. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05111-8>
- Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, v.13, n.3, p.245-259. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Marengo J.A., Torres R.R. e Alves L.M. 2017. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v.129, n. 3/4, p.1189–1200. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- Mckee, T. B.; Doesken, N. J.; Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In: *Conference on Applied Climatology*, 9, 1995. Dallas, Texas. American Meteorological Society, p. 233-236.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993, 179-184.
- Medeiros S.E.L., Abrahão R., García-Garizábal I., Peixoto I.M.B.M. e Silva L.P. (2018). Assessment of Precipitation Trends in the Sertão Paraibano Mesoregion. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.33, n.2, p.344–352. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786332016>
- Moura A. D, Shukla J. 1981. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of Atmospheric Sciences*, v.38, n.12, p.2653–2675. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2)
- Nascimento, F. C. A., Braga, C. C., Araújo, F. R. C. D. 2017. Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.32, n.3, p.375-386. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863230005>
- Nobre P, Shukla J. 1996. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal Climate*, v.9, n.10, p.2464–2479. DOI: [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)
- Palmer, W. C. 1965. Meteorological drought. n. 30: US Department of Commerce.
- Páscoa P., Gouveia C.M., Russo A. e Trigo R.M. 2017. Droughts trends in the Iberian Peninsula over the last 112 years. *Advances in Meteorology*, v.2017, p.1–13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/4653126>
- Patel, N. R., Chopra, P., & Dadhwal, V. K. 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications*, v.14, n.4, p.329–336. DOI: <https://doi.org/10.1002/met.33>
- Qi, J., Zhang, X., & Wang, Q. 2019. Improving hydrological simulation in the Upper Mississippi River Basin through enhanced freeze-thaw cycle representation. *Journal of Hydrology*, v.571, p.605–618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.020>
- Rahman G., Atta-Ur-Rahman, Samiullah e Dawood M. 2018. Spatial and temporal variation of rainfall and drought in Khyber Pakhtunkhwa Province of Pakistan during 1971–2015. *Arabian Journal of Geosciences*, v.11, n.3, p.1–13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3396-7>
- Rao V.B., Franchito S.H., Santo C.M.E. E Gan M.A. 2015. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. *International Journal of Climatology*, v.36, n.1, p.291–302. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4345>
- Rodrigues RR, Taschetto AS, Gupta AS, Foltz GR 2019 Common cause for severe droughts in South

- America and marine heatwaves in the South Atlantic. *Nature Geoscience*, v.12, p.620–626. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0393-8>
- Ropelewski C.F, Halpert M.S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El-Nino Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v.115, n.8, p.1606–1626. DOI: 10.1175/15200493(1987)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2
- Russo, S., Dosio, A., Sterl, A., Barbosa, P., & Vogt, J. 2013. Projection of occurrence of extreme dry-wet years and seasons in Europe with stationary and nonstationary Standardized Precipitation Indices. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, v.118, n.14, p.7628–7639. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrd.50571>
- Sen, P.K. 1968. Estimativas do coeficiente de regressão com base no TAU de Kendall. *Jornal da Associação Estatística Americana*, v.63, p.1379–1389.
- Silva, D.F da.; Lima, M.J.S.; Souza Neto, P.F.; Gomes, H.B.; Silva, F.D.S. et al. 2020. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, p. 449–464. DOI: 10.26848/rbgf.v13.2.p449-464
- Smakhtin, V.U.; Schipper, E.L.F. 2008. Droughts: the impact of semantics and perceptions. *Water Policy*, v.10, n.2, p.131–143. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2008.036>
- Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. 2012. Standardized precipitation index user guide. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland, ISBN:978-92-63-11091-6, p.900.
- Tedeschi R. G, Grimm A. M, cavalcanti I. F. A. 2015. Influence of central and east ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. *International Journal Climatology*, v.35, n.8, p.2045–2064. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4106>
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, v.21, n.5, p.821–833. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9105-4>
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., & Lopez-Moreno, J. I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, v.23, n.7, p.1696–1718. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009jcli2909.1>
- Wable, P.S.; Jha, M.K.; Shekhar, A. 2019. Comparison of Drought Indices in a SemiArid River Basin of India. *Water Resources Management*, v.33, n.1, p.75–102. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2089-z>
- Wang, Q., Zeng, J., Qi, J., Zhang, X., Zeng, Y., Shui, W., Xu, Z., Zhang, R., Wu, X., & Cong, J. 2021. A multi-scale daily SPEI dataset for drought characterization at observation stations over mainland China from 1961 to 2018. *Earth System Science Data*, v.13, n.2, p.331–341. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-13-331-2021>
- Wilks, D. S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2 ed, 649p.
- Wu, X., Zhang, R., Bento, V. A., Leng, S., Qi, J., Zeng, J., & Wang, Q. 2022. The effect of drought on vegetation gross primary productivity under different vegetation types across China from 2001 to 2020. *Remote Sensing*, v.14, n.18, p.4658. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14184658>
- Xu, H., Wang, X., Zhao, C., Yang, X. 2021. Assessing the response of vegetation photosynthesis to meteorological drought across northern China. *Land Degradation & Development*, v.32, n.1, p.20–34. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3701>
- Zarei A.R. e Eslamian S. 2017. Trend assessment of precipitation and drought index (SPI) using parametric and non-parametric trend analysis methods (case study: Arid regions of southern Iran). *International Journal of Hydrology Science and Technology*, v.7, n.1, p.12–38. DOI: 10.1504/IJHST.2017.080957
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. 2011. A review of drought indices. *Environmental Review*, v.19, p.333–349. DOI: <https://doi.org/10.1139/a11-013>
- Zeng, J., Zhang, R., Qu, Y., Bento, V. A., Zhou, T., Lin, Y., Wu, X., Qi, J., Shui, W., & Wang, Q. 2022. Improving the drought monitoring capability of VHI at the global scale via ensemble indices for various vegetation types from 2001 to 2018. *Weather and Climate Extremes*, v. 35, p. 100412. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100412>
- Zhang, R., Wu, X., Zhou, X., Ren, B., Zeng, J., & Wang, Q. 2022c. Investigating the effect of improved drought events extraction method on spatiotemporal characteristics of drought. *Theoretical and Applied Climatology*, v.147, n.1, p.395–408. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03838-z>