TRANSIÇÕES NO REGIME DE SECAS METEOROLÓGICAS EM BARREIRAS, BAHIA, AO LONGO DO SÉCULO XXI: EVIDÊNCIAS DE PROJEÇÕES CMIP6

Janaina Maria Oliveira de Assis [1] ; Carla Gabrielle Alves dos Santos [2]; Diego Cezar dos Santos Araujo[3]; Yáscara Maia Araújo de Brito[4] & Samara Fernanda da Silva [5]

RESUMO – Esse estudo compreende a identificação e análise dos eventos de seca para o município de Barreiras-BA, através do cálculo do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) aplicado às escalas de tempo de 12 e 24 meses (SPI-12; SPI-24) de precipitação acumulada. Foram utilizados cenários de projeções climáticas para a área de estudo, do período de 2015 a 2100, sendo um intermediário (SSP2-4.5) e um pessimista (SSP5-8.5), ambos derivados de uma seleção de Modelos Climáticos Globais (MCGs) do CMIP6 e calibrados com dados diários do produto Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD). As séries de SPI foram avaliadas quanto à existência de tendências temporais utilizando o teste não paramétrico de Mann-Kendall. Os resultados indicam uma tendência de agravamento das secas meteorológicas em Barreiras (BA) nas primeiras décadas do século XXI, seguida por alterações significativas no regime climático a partir de meados do século, com projeções que apontam para uma gradual redução das condições de seca e um cenário relativamente mais úmido no longo prazo.

ABSTRACT– This study comprises the identification and analysis of drought events for the municipality of Barreiras-BA, through the calculation of the Standardized Precipitation Index (SPI) applied to 12- and 24-month time scales (SPI-12; SPI-24) of accumulated precipitation. Climate projection scenarios for the study area were used, from 2015 to 2100, including an intermediate (SSP2 4.5) and a pessimistic (SSP5 8.5) scenario, both derived from a selection of Global Climate Models (GCMs) from CMIP6 and calibrated with daily data from the Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) product. The SPI series were evaluated for the existence of temporal trends using the non-parametric Mann-Kendall test. The results indicate a trend of worsening meteorological droughts in Barreiras (BA) in the first decades of the 21st century, followed by significant changes in the climate regime from the middle of the century onwards, with projections pointing to a gradual reduction in drought conditions and a relatively wetter scenario in the long term..

Palavras-Chave – Índice de seca; Cenários climáticos; SPI.

1 INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno climático de grande complexidade, suas causas e impactos ainda representam um desafio para pesquisadores e gestores. Seus efeitos atingem milhões de pessoas em

[1]) Pesquisadora da Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB, Barreiras, Bahia. Email: jmoassis@gmail.com
[2]) Bolsista IC da Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB, Barreiras, Bahia. Email: carlagabrielle125@gmail.com
[3]) Pesquisador da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, Pernambuco. Email: diego.caraujo@ufpe.br
[4]) Professora da Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB, Barreiras, Bahia. Email: yascara.brito@ufob.edu.br
[5]) Professora da Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB, Barreiras, Bahia. Email: samara.silva@ufob.edu.br

diferentes regiões do planeta, provocando prejuízos ambientais, sociais e econômicos significativos (Lorenzo et al, 2024; Coughlan de Perez, 2022). Uma de suas principais características é a distribuição irregular ao longo do tempo e do espaço, além do fato de que seus impactos podem permanecer por longos períodos, mesmo após o retorno das condições normais de precipitação. Por essa razão, o estudo das secas e de seus padrões de ocorrência é uma etapa importante para o planejamento de ações voltadas à redução de riscos e à mitigação de danos futuros.

Do ponto de vista físico, as secas podem ser classificadas em três tipos principais: meteorológica, agrícola, hidrológica (Mishra, et al, 2010). A seca meteorológica ocorre quando há uma redução significativa das chuvas em determinada região durante um período específico, ou seja, há um déficit de precipitação e/ou aumento da demanda evaporativa do ar em relação ao normal (Amognehegn, et. al., 2023). Já a seca agrícola está relacionada à diminuição da umidade do solo, muitas vezes medida por índices de solo ou vegetação, comprometendo o desenvolvimento das culturas e reduzindo a produtividade das lavouras (Cao, et al., 2022). A seca hidrológica, por sua vez, se manifesta pela queda dos níveis de rios, reservatórios e aquíferos, resultando em menor disponibilidade de água (Ding et. al. 2021).

O monitoramento das secas tem motivado o desenvolvimento de diversos índices, sendo a escolha do indicador mais adequado, condicionada aos objetivos do estudo, às condições climáticas e à disponibilidade de dados. Esses índices podem utilizar variáveis como precipitação, temperatura e evapotranspiração para caracterizar a intensidade e a duração dos eventos de seca (Han e Singh, 2023). Entre os mais utilizados destaca-se o Índice Padronizado de Precipitação (*Standardised Precipitation Index* - SPI), baseado apenas na precipitação. Em estudos de mudança climática, ele é aplicado a séries observadas e a projeções de precipitação de modelos climáticos para avaliar frequência, duração e severidade de secas ao longo de diferentes cenários de emissões. No caso de dados projetados, o SPI é calculado a partir de precipitação simulada por modelos globais/regionais como CMIP5/6, EURO-CORDEX, CORDEX, entre outros, sob RCP/SSP ou níveis de aquecimento entre 1,5 a 3 °C (LORENZO et al., 2024; ALVAREZ, et al., 2024).

O SPI é um índice probabilístico, normalizado, que permite comparar períodos secos entre regiões com climas distintos e em várias escalas de tempo, compreendendo entre 1 a 24 meses, ou mais (Sakellariou et al., 2024). O SPI-12 é a versão em 12 meses do Índice Padronizado de Precipitação, que sintetiza o balanço de chuva de um ano inteiro, amplamente associado a secas hidrológicas indicando impactos, nos níveis de reservatórios, rios e vazão (Paulo et al., 2026). E o SPI-24 utiliza 24 meses de precipitação acumulada, captando secas multianuais, sendo um indicador

de longo prazo, que reflete os impactos severos e prolongados nos níveis de recarga de águas subterrâneas (AKTER et al., 2023; OJHA, 2021).

Este artigo tem como objetivo analisar a ocorrência de secas no município de Barreiras-BA, por meio do Índice Padronizado de Precipitação (SPI), considerando os SPI-12 e SPI-24, e utilizando projeções climáticas regionalizadas de alta resolução provenientes do conjunto CMIP6. A análise considera cenários de mudanças climáticas representativos de trajetórias intermediária e pessimista de emissões, com base em uma seleção robusta de Modelos Climáticos Globais (MCGs) e, visa avaliar possíveis alterações na frequência e na intensidade dos eventos de seca na área de estudo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Dados climáticos e correção de viés

As séries de precipitação diária correspondem ao pixel representativo da cidade de Barreiras, Bahia, localizada no Oeste da Bahia, inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Grande, com outros cursos d'água de destaque, tais como os rios de Ondas, de Janeiro e Branco, sendo está um importante afluente do Rio São Francisco (Pinto et al., 2006). Para isso, foram utilizados cenários de projeções climáticas do período de 2015 a 2100. Estes cenários possuem conjunto de dados com projeções de alta resolução (0,25° x 0,25°) e foram obtidos a partir do Projeto PROJENE, que é uma plataforma de projeções de dados climáticos para o Nordeste, disponível em https://projene.xhidro.com/.

Assim, foram extraídos a Média Multi-Modelos (Ensemble) para dois cenários, intermediário (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5), derivados de uma seleção robusta de Modelos Climáticos Globais (MCGs) do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6). Os modelos foram submetidos a uma rigorosa correção de viés utilizando o algoritmo de Mapeamento Delta de Quantis (QDM) e calibrados em relação ao produto observacional de alta resolução Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD), que é um conjunto em grade georreferenciada com resolução espacial de 0,1°, disponibilizados em Xavier et al. (2026). Para treinamento do QDM, foi utilizado o período estacionário histórico de 1961 a 1995, com validação em intervalo independente, realizada no período de 1996 a 2014, garantindo avaliação fora da amostra e testando a robustez das correções frente a variações climáticas recentes.

2.2 Cálculo do SPI

Posterior a extração das séries temporais diárias de precipitação dos Ensemble, foram determinadas as séries do Índice de Precipitação Padronizado (SPI). Este índice foi utilizado nesse trabalho para identificar e caracterizar os eventos de seca no município de Barreiras-BA. Segundo (McKee et al., 1993), o índice foi desenvolvido com o objetivo de classificar os dados de precipitação

como um valor padronizado de acordo com a probabilidade de ocorrência da chuva, permitindo a comparação de condições de seca. O SPI é computado para diferentes escalas de tempo, que consistem em um determinado período cumulativo de chuva. A escala de tempo é aplicada de forma a comparar a precipitação ao longo de determinados períodos em um registro de longo prazo.

As escalas de tempo selecionadas para o cálculo do SPI foram de 12 meses (SPI-12) e 24 meses (SPI-24) para a caracterização das condições de seca de médio e longo prazo. O cálculo do SPI foi realizado por meio do software Climpact (disponível em https://climpact-sci.org/), o qual utiliza os procedimentos descritos no Guia do SPI da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2012).

O SPI é obtido a partir do ajuste estatístico dos totais acumulados de precipitação, calculados para a escala temporal de interesse, a uma distribuição de probabilidade. A distribuição Gama de dois parâmetros é a mais comumente empregada por ser apropriada para variáveis contínuas, não negativas e com assimetrias positivamente. Após o ajuste da distribuição, a probabilidade acumulada associada a cada valor de precipitação é transformada para a distribuição normal padrão, resultando nos valores do SPI.

A função de densidade de probabilidade da distribuição Gama é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}.\Gamma(\alpha)}.x^{\alpha-1}.e^{-\frac{x}{\beta}} \qquad para\ x > 0 \tag{1}$$

Onde:

- x: é o valor da precipitação acumulada (em mm).
- α: é o parâmetro de forma (adimensional).
- β: é o parâmetro de escala (em mm).
- Γ(α): é a função Gama.

Os parâmetros α e β são estimados a partir da série histórica de dados de precipitação, por meio do método da Máxima Verossimilhança. As equações utilizadas para essa estimativa envolvem a média aritmética da precipitação ($\bar{x}$) e o número de observações (n) e são apresentadas a seguir:

$$\alpha = \frac{1+\sqrt{\frac{4A}{3}}}{4A} \tag{2}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \tag{3}$$

Onde $A = ln(\bar{x}) - \frac{\sum ln(x)}{n}$, $\bar{x}$ é a média aritmética da precipitação, e n é o número de observações.

2.3 Avaliação dos resultados

2.3.1 Classificação do SPI

As análises dos resultados do SPI nas escalas temporais de 12 e 24 meses foram realizadas por meio da classificação dos índices obtidos para cada estação, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1- Classificação do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) e categorias de seca e umidade

Intervalo do SPI	Condição	Classe
SPI > 2,0	Umidade extrema	Úmido
1,5 < SPI < 2,0	Alta umidade	
1,0 < SPI < 1,5	Umidade moderada	
0,5 < SPI < 1,0	Umidade leve	
-0,5 < SPI < 0,5	Condição normal	Normal
-0,5 < SPI < -1,0	Seca leve	Seco
-1,0 < SPI < -1,5	Seca moderada	
-1,5 < SPI < -2,0	Seca severa	
SPI < -2,0	Seca extrema	

As séries de SPI foram avaliadas para o período completo de projeção e para três janelas temporais distintas, definidas da seguinte forma: Período completo de 2015–2100; Futuro próximo de 2021–2040; Meio do século de 2041–2070 e Final do século de 2071–2100.

2.3.2 Análise de tendência

As séries de SPI foram avaliadas quanto à existência de tendências temporais utilizando o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Hamed, 2008), apropriado para séries hidrológicas e climáticas sem pressuposto de normalidade. A magnitude da tendência foi estimada pelo método de Sen's slope, expressa em unidades de SPI por década. Além disso, foi aplicado o teste de Pettitt para detectar possíveis pontos de mudança abrupta nas séries. Estas análises foram realizadas para todas as janelas temporais. O coeficiente Tau de Kendall foi calculado para representar a direção e intensidade da tendência. Assim, tendências com $p < 0,05$ foram consideradas estatisticamente significativas e as interpretações adotadas foram:

- Tau positivo e inclinação de Sen positiva: tendência para condições mais úmidas.
- Tau negativo e inclinação de Sen negativa: tendência para condições mais secas.
- $p \geq 0,05$: ausência de tendência significativa.

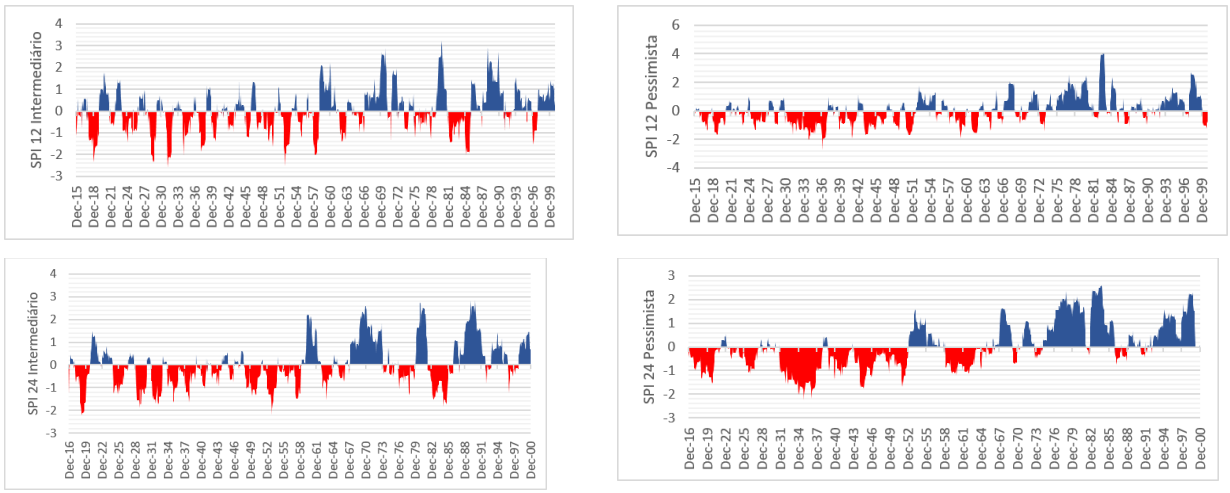
2.3.3 Caracterização da seca

As características das secas meteorológicas foram avaliadas considerando três limiares de severidade do SPI: SPI ≤ -1,0 (seca moderada), SPI ≤ -1,5 (seca severa) e SPI ≤ -2,0 (seca extrema). Para o limiar ≤ -1,5 foi calculado a duração máxima dos eventos de seca, considerando eventos consecutivos de meses igual ou inferior ao este limiar.

3 RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os resultados do SPI-12 e SPI-24 do ensemble para os cenários de emissão intermediário (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5). Os resultados das projeções dos índices SPI-12 e SPI-24 indicam que a evolução das secas meteorológicas ao longo do século XXI em Barreiras não ocorre de forma linear, sendo caracterizada por uma transição entre condições mais secas no futuro próximo e uma tendência de recuperação das condições de umidade a partir da metade do século, sendo observada em ambos os cenários de emissões (SSP2-4.5 e SSP5-8.5).

Figura 1- Resultados do SPI-12 e SPI-24 do ensemble para os cenários de emissão intermediário (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5)



A Tabela 1 apresenta os resultados referentes às estatísticas das secas em diferentes cenários de emissões, escalas temporais e janelas de tempo. A análise do período completo revelou tendências estatisticamente significativas de aumento dos valores de SPI para todas as séries avaliadas ($p < 0,001$), indicando condições progressivamente mais úmidas ao longo do século. Os coeficientes Tau de Kendall variaram entre 0,177 e 0,415, enquanto as inclinações de Sen oscilaram entre 0,107 e 0,236 unidades de SPI por década. A maior magnitude de tendência foi observada para o SPI-24 sob o cenário SSP5-8.5 (Tau = 0,415; Sen = 0,236 SPI), sugerindo um aumento mais pronunciado da disponibilidade hídrica de longo prazo. Entretanto, a análise por subperíodos demonstra que essa tendência positiva resulta da combinação de diferentes fases climáticas ao longo do século. Durante o futuro próximo (2021–2040), todas as séries apresentaram tendências negativas significativas ($p < 0,01$), com inclinações de Sen variando entre −0,352 e −0,659 SPI por década.

Quadro 1- Estatísticas e características das secas nos diferentes cenários de emissões, escalas e janelas de tempo.

Série	Período	Tau	p (MK)	Sen por Década	Interpretação	Frequência (%)			Duração máxima SPI≤-1 (meses)	p (Pettitt)	Data de mudança
						SPI ≤ -1	SPI ≤ -1.5	SPI ≤ -2			
SPI_12 SSP2-4.5	Completo	0.177	<0.001	0.107	Tendência para condições mais úmidas	15.67	6.76	2.25	19	0	2059-01
SPI_12 SSP5-8.5	Completo	0.298	<0.001	0.170	Tendência para condições mais úmidas	14.01	4.80	0.20	26	0	2067-02
SPI_24 SSP2-4.5	Completo	0.234	<0.001	0.144	Tendência para condições mais úmidas	15.46	4.66	0.79	21	0	2059-02
SPI_24 SSP5-8.5	Completo	0.415	<0.001	0.236	Tendência para condições mais úmidas	14.57	4.76	0.50	58	0	2066-10
SPI_12 SSP2-4.5	Futuro próximo	-0.137	0.0015	-0.352	Tendência para condições mais secas	24.17	11.25	6.67	14	0.0005	2028-09
SPI_12 SSP5-8.5	Futuro próximo	-0.306	<0.001	-0.613	Tendência para condições mais secas	23.33	8.75	0.83	26	0	2031-03
SPI_24 SSP2-4.5	Futuro próximo	-0.270	<0.001	-0.518	Tendência para condições mais secas	25.42	8.75	0.00	11	0	2029-02
SPI_24 SSP5-8.5	Futuro próximo	-0.316	<0.001	-0.659	Tendência para condições mais secas	31.25	15.83	2.08	58	0	2031-10
SPI_12 SSP2-4.5	Meio do século	0.185	<0.001	0.300	Tendência para condições mais úmidas	14.44	6.11	1.11	13	0	2059-01
SPI_12 SSP5-8.5	Meio do século	0.130	<0.001	0.196	Tendência para condições mais úmidas	18.06	6.67	0.00	13	0	2052-04
SPI_24 SSP2-4.5	Meio do século	0.214	<0.001	0.303	Tendência para condições mais úmidas	14.17	1.67	0.28	21	0	2059-02
SPI_24 SSP5-8.5	Meio do século	0.236	<0.001	0.285	Tendência para condições mais úmidas	14.17	2.50	0.00	14	0	2052-12
SPI_12 SSP2-4.5	Final do século	0.115	0.0012	0.204	Tendência para condições mais úmidas	7.78	2.78	0.28	10	0	2085-12
SPI_12 SSP5-8.5	Final do século	-0.025	0.4796	-0.045	Sem tendência significativa	2.22	0.00	0.00	6	0	2085-10
SPI_24 SSP2-4.5	Final do século	0.044	0.2176	0.082	Sem tendência significativa	8.06	2.22	0.00	13	0	2086-12
SPI_24 SSP5-8.5	Final do século	0.038	0.2807	0.064	Sem tendência significativa	0.00	0.00	0.00	0	0	2086-10

No meio do século, observa-se uma inversão de comportamento. Todas as séries passaram a apresentar tendências positivas significativas ($p < 0,001$), com inclinações de Sen entre 0,196 e 0,303 SPI por década, indicando uma transição para condições mais úmidas, sendo observada nos gráficos, nos quais a frequência e a intensidade dos valores positivos de SPI aumentam neste período. No final do século, as tendências tornam-se menos pronunciadas, apenas o SPI-12 sob SSP2-4.5 manteve tendência positiva significativa (Tau = 0,115; p = 0,0012), enquanto as demais séries não apresentaram tendências estatisticamente significativas, sugerindo relativa estabilização das condições pluviométricas.

Os resultados do teste de Pettitt indicaram mudanças significativas em todas as séries ($p < 0,001$). No futuro próximo, os pontos de mudança concentram-se entre 2028 e 2032, coincidindo com o período de intensificação das condições secas. Posteriormente, novos pontos de mudança foram identificados principalmente entre 2052 e 2067, marcando a transição para uma fase predominantemente mais úmida. Esta mudança é particularmente evidente nas séries SPI-24, cuja maior capacidade de representar variabilidade climática de baixa frequência permite identificar a alternância entre períodos secos e úmidos.

Em relação a frequência e severidade das secas, observa-se que os maiores percentuais de ocorrência de secas foram observados durante o futuro próximo. Para o SPI-12, a frequência de secas de modeladas ($SPI \leq -1$) atingiu aproximadamente 24% em ambos os cenários, enquanto o SPI-24 sob SSP5-8.5 este valor alcançou 31,25%, indicando que quase um terço do período poderá apresentar condições de seca persistente. A frequência de secas severas ($SPI \leq -1,5$) também foi elevada neste horizonte temporal, atingindo 15,83% no SPI-24 SSP5-8.5, quanto os eventos extremos ($SPI \leq -2$) tiveram frequência de até 6,67% no SPI-12 SSP2-4.5, evidenciando um risco considerável de déficits pluviométricos intensos. Para os períodos de meio e final do século houve redução da frequência das secas. No final do século, a ocorrência de secas extremas torna-se praticamente inexistente, não sendo observado, por exemplo, registrados eventos com $SPI \leq -1$ durante o período 2071–2100 na série do SPI-24 SSP5-8.5, indicando predominância de condições neutras ou úmidas.

Em relação as durações, a maior observada corresponde ao SPI-24 SSP5-8.5 no futuro próximo, com evento contínuo de 58 meses sob condição de seca moderada ($SPI \leq -1$). Mesmo no período de meio de século (mais úmidos), em ambos os cenários, as durações máximas variaram entre 13 e 21 meses.

4 CONCLUSÃO

As projeções multimodelo CMIP6 indicam intensificação das secas meteorológicas em Barreiras - BA durante as primeiras décadas do século XXI, sendo observado aumento da frequência, intensidade e persistência dos eventos de seca. Foram identificadas mudanças significativas no regime das secas entre 2050 e 2060, indicando uma transição das condições mais secas nas primeiras décadas do século para um regime progressivamente mais úmido nas projeções de longo prazo.

Embora o SPI seja amplamente utilizado para caracterização de secas meteorológicas, sua aplicação em um único pixel não permite inferências diretas sobre a resposta hidrológica de bacias hidrográficas. A disponibilidade hídrica resulta da integração espacial dos processos climáticos, hidrológicos e antrópicos ao longo da bacia, incluindo mudanças no uso e cobertura da terra, expansão agrícola, outorgas concedidas, entre outros. Dessa forma, os resultados apresentados devem ser interpretados como projeções das condições meteorológicas locais, destacando-se a necessidade de estudos futuros em escala de bacia hidrográfica que integrem projeções climáticas e modelagem hidrológica para avaliar os impactos sobre a disponibilidade hídrica regional. Portanto, faz-se necessário ampliar as análises para escalas de bacias hidrográficas. A combinação destas projeções climáticas combinadas com modelos hidrológicos poderá fornecer estimativas mais realistas dos impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica, a recarga de aquíferos e a ocorrência de secas hidrológicas ao longo do século XXI.

AGRADECIMENTOS

À FAPESB pelas bolsas das autoras Janaina Maria Oliveira de Assis e Carla Gabrielle Alves dos Santos concedidas, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida ao autor Diego Cezar dos Santos Araujo e ao Núcleo de Estudos de Recursos Hídricos do Semiárido – NERHIS pela disponibilização dos dados na plataforma da PROJENE.

REFERÊNCIAS

AKTER, M.; RAHMAN, M. N.; AZIM, S. A.; RONY, M. R. H.; SOHEL, M.; ABDO, H. Estimation of drought trends and comparison between SPI and SPEI with prediction using machine learning models in Rangpur, Bangladesh. *Geology, Ecology, and Landscapes, 9*, 596 - 610. 2023. https://doi.org/10.1080/24749508.2023.2254003

ÁLVAREZ, I.; PEREIRA, H.; LORENZO, M. N. Projeções de seca para o noroeste da Península Ibérica sob mudanças climáticas. *Clim* Dyn 62, 4775–4791, 2024. https://doi.org/10.1007/s00382-023-07084-z

AMOGNEHEGN, A. E.; NIGUSSIE, A. B.; ADAMU, A. Y.; MULU, G. F. Analysis of future meteorological, hydrological, and agricultural drought characterization under climate change in

Kessie watershed, Ethiopia. *Geocarto International*, *38*, 2023. https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2247377

CAO, H.; ZHANG, L.; HE, Y.; ZHANG, Y.; CHEN, Y.; YAO, S.; YANG, W.; SUN, Q. Effects and contributions of meteorological drought on agricultural drought under different climatic zones and vegetation types in Northwest China, Science of The Total Environment, Volume 821, 2022, 153270, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153270

COUGHLAN DE PEREZ, E.; FUENTES, I.; JACK, C.; KRUCZKIEWICZ, A.; PINTO, I.; STEPHENS, E. *Different types of drought under climate change or geoengineering: Systematic review of societal implications*. Frontiers in Climate, v. 4, 2022. DOI: 10.3389/fclim.2022.959519

DING, Y.; GONG, X.; XING, Z.; CAI, H.; ZHOU, Z.; ZHANG, D.; SUN, P.; SHI, H. Attribution of meteorological, hydrological and agricultural drought propagation in different climatic regions of China, Agricultural Water Management, Volume 255, 2021, 106996, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106996

FARIAS, A. A.; SOUSA, F. A. S.; ALVES, T. L. B.; BRITO, T. C. A seca de 2012-2014 no município de Taperoá-PB e o papel das ações de convivência nesse contexto. Revista Brasileira De Geografia Física, 14(1), 135–158, 2021. https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p135-158

HAN J.; SINGH V. P. A review of widely used drought indices and the challenges of drought assessment under climate change. Environ Monit Assess. 2023 Nov 9;195(12):1438. doi: 10.1007/s10661-023-12062-3

HAMED, K.H. Trend detection in hydrologic data: the Mann–kendall trend test under the scaling hypothesis. J. Hydrol. (Amst) 349, 350–363, 2008. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009

LORENZO, M. N.; PEREIRA, H.; ALVAREZ, I.; DIAS, J. M. Standardized Precipitation Index (SPI) evolution over the Iberian Peninsula during the 21st century, Atmospheric Research, Volume 297, 107132, 2024, https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.107132

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, v. 391, n. 1–2, p. 202–216, 2010. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

OJHA, S. S.; SINGH, V.; ROSHNI, T. Comparison of Meteorological Drought using SPI and SPEI. *Civil Engineering Journal*. 2021. https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091783

PAULO, A.; MARTINS, D.; PEREIRA, L. S. Influence of Precipitation Changes on the SPI and Related Drought Severity. An Analysis Using Long-Term Data Series. *Water Resour Manage* 30, 5737–5757, 2016. https://doi.org/10.1007/s11269-016-1388-5

SAKELLARIOU, S.; SPILIOTOPOULOS, M.; ALPANAKIS, N.; FARASLIS, I.; SIDIROPOULOS, P.; TZIATZIOS, G. A.; KAROUTSOS, G.; DALEZIOS, N.; DERCAS, N. Spatiotemporal Drought Assessment Based on Gridded Standardized Precipitation Index (SPI) in Vulnerable Agroecosystems. *Sustainability*. 2024. https://doi.org/10.3390/su16031240

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. Dados Meteorológicos Diários Brasileiros (BR-DWGD). 2024. Disponível em: https://github.com/AlexandreCandidoXavier/BRDWGD?tab=readme-ov-file. Acesso em 05 de junho de 2026.