Análise da seca de variáveis hidrológicas no município de Surubim-PE

Ivanildo Batista da Silva Júnior [1] ; Gabriel Graciano de Mendonça[2]; Iris Lima Cruz[3]; Lucélia Kátia de Lima[4]; Antonio Samuel Alves da Silva[5]

RESUMO – A análise de múltiplas variáveis climáticas, além da precipitação, é fundamental para desenvolver cenários e entender o comportamento hidrológico de uma região. O objetivo desse estudo é avaliar os índices padronizados das variáveis precipitação (SPI), escoamento (SRI) e umidade do solo (SSMI) do município de Surubim, localizado no Agreste de Pernambuco. Os dados foram extraídos do conjunto de dados TerraClimate para o período de 1970 a 2019. Foram utilizados os testes Mann-Kendall modificado e Sen's slope para identificar presença de tendência nas séries temporais na escala mensal, e estimar suas magnitudes, respectivamente. A partir dos índices padronizados, foram extraídas a características frequência de seca para cada índice e analisada as tendências, tanto dos índices quando desta característica. Os resultados mostraram que os índices apresentam tendência negativa e significativa, indicando que, entre 1970 e 2019, o município tem apresentado cenários cada vez mais secos; mas para as frequências de seca, apenas o índice SRI-12, apresentou um aumento da ocorrência de eventos secos.

ABSTRACT– Analyzing multiple climate variables, in addition to precipitation, is fundamental for developing scenarios and understanding the hydrological behavior of a region. The objective of this study is to evaluate the standardized indices of precipitation (SPI), runoff (SRI), and soil moisture (SSMI) variables in the municipality of Surubim, located in the Agreste region of Pernambuco. Data were extracted from the TerraClimate dataset for the period from 1970 to 2019. The modified Mann-Kendall and Sen's slope tests were used to identify the presence of trends in the monthly time series and estimate their magnitudes, respectively. Based on the standardized indices, drought frequency characteristics were extracted for each index, and the trends for both the indices and this characteristic were analyzed. The results showed that the indices present a significant negative trend, indicating

1) Afiliação: Doutorando programa de Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada da Universidade Federal Rural de Pernambuco, fone: (81) 99521-3607, e-mail: ivanildo.batista13@gmail.com.
2) Afiliação: Doutorando programa de Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada da Universidade Federal Rural de Pernambuco.
3) Afiliação: Graduanda do curso de Licenciatura em Matemática, Universidade Federal Rural de Pernambuco.
4) Afiliação: Docente da Universidade Federal de Pernambuco (UFRPE), Codai, São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil.
5) Afiliação: Docente do Departamento de Estatística e Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

that, between 1970 and 2019, the municipality has experienced increasingly drier scenarios; however, for drought frequencies, only the SRI-12 index showed an increase in the occurrence of dry.

Palavras-Chave – Tendência; seca; Frequência

INTRODUÇÃO

A análise de tendência de variáveis climáticas é uma importante etapa do estudo de eventos hidrológicos, pois permite a identificar e interpretar os efeitos das mudanças climáticas (Dong *et al*., 2020; El Kasri *et al*., 2021), além de ajudar a aliviar de potenciais efeitos negativos na produtividade de agroecossistemas (Sharma, *et al*., 2020). No Nordeste do Brasil, mais especificamente em Pernambuco e seus municípios, eventos extremos são evidenciados (Duarte, Nóbrega e Coutinho, 2015; Nóbrega, Farias e Santos, 2015; Morais et al., 2016). Bacias hidrográficas com a do rio Moxotó, por exemplo, apresenta uma alta vulnerabilidade a mudanças climáticas em decorrência do aumento significativo da evapotranspiração (Tibúrcio *et al*., 2024). Silva, Montenegro e Souza (2017) identificaram tendências de redução da precipitação e de aumento do número de dias secos em bacias hidrográficas de Pernambuco.

O município de Surubim, localizado no Agreste de Pernambuco e em uma região com predominância da vegetação de Caatinga, inserido dentro da Bacia Hidrográfica do Capibaribe (Freitas *et al*., 2018), é um importante município pernambucano, com um Produto Interno Bruto de mais de R$ 1 bilhão e uma população de mais de 64 mil pessoas, com uma economia baseada na produção agropecuária (IBGE, 2024; IBGE, 2025) veem enfrentado problemas com secas hidrológicas no reservatório do Jucazinho (SRHS, 2026) e, conforme Silva (2020), enfrentou uma seca severa recente entre 2012-2016, com os valores de precipitação reduzindo significativamente, indicando que o município tem seu clima alterado para semiárido. O objetivo desse trabalho é avaliar os índices padronizados, na escala anual, das variáveis precipitação (SPI-12), umidade do solo (SSMI-12) e escoamento (SRI-12) para o município de Surubim, entre 1970 e 2019, analisando a tendência por meio dos testes Mann-Kendall modificado e *Sen's slope* (ou inclinação de Sen), assim como as frequências de cada índice ao longo dos anos e como a tendência dessa característica se comporta.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados e região

Surubim está localizado no Agreste de Pernambuco, na Latitude 7° 50′ 60″ Sul e Longitude 35° 45′ 18″ Oeste, altitude de 394 metros e área de 252,82 Km². A região do Agreste, onde está

localizado Surubim, possui um clima quente e úmido com precipitação média de 1.333,1 mm, com os meses de maio e junho como os mais chuvosos (Santos *et al.*, 2010).

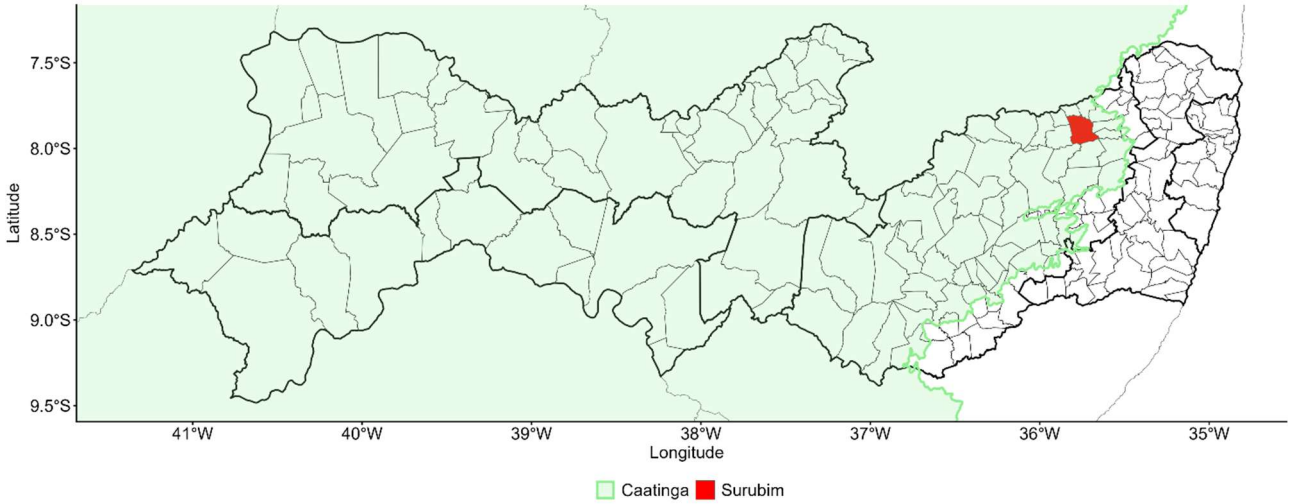


Figura 1 – Localização do município de Surubim-PE

Os dados utilizados nesse estudo foram extraídos do produto TerraClimate (Abatzoglou *et al.*, 2018), que é um conjunto de dados de alta resolução com diversas variáveis climáticas que podem ser usadas em estudos de hidrologia. As séries temporais de médias mensais foram extraídas a partir do pacote *brclimr* (Saldanha *et al*., 2023) para o município de Surubim entre janeiro de 1970 a dezembro de 2019. As variáveis extraídas foram precipitação, umidade do solo e escoamento.

Índices de seca

Para uma caracterização robusta dos regimes hidrometeorológicos e avaliação dos impactos das secas no município de Surubim, foram abordados os índices padronizados: o *Standardized Precipitation Index* - SPI, que permite quantificar a escassez de precipitação em múltiplas escalas de tempo, refletindo o déficit de precipitação e seus valores negativos indicam períodos de seca meteorológica (McKee, Doesken e Kleist, 1993); o *Standardized Soil Moisture Index* - SSMI é um índice usado para o monitoramento da seca agrícola e seu impacto na vegetação, calculado a partir dos dados de umidade do solo; e o *Standardized Runoff Index* – SRI (Shukla e Wood, 2008), que quantifica as anomalias no escoamento superficial e é útil para caracterizar a seca hidrológica, assim como os índices anteriores, os valores negativos de SRI indicam condições de seca, cuja intensidade aumenta à medida que índice assume valores mais baixos. O cálculo desses índices requer o ajuste de uma distribuição de probabilidade aos valores acumulados da variável de interesse em diferentes escalas temporais (por exemplo, 1, 3, 6 ou 12 meses). As probabilidades obtidas são então transformadas em uma variável padronizada (distribuição normal padrão), originando índices capazes de caracterizar condições de seca ou umidade. A Tabela 1 apresenta as distribuições de probabilidade mais empregadas nesse procedimento, bem como suas respectivas funções densidade de probabilidade e de distribuição

acumulada. A distribuição Gama é utilizada para o ajuste da precipitação acumulada e escoamento acumulado (Xiang *et al.*, 2020), enquanto que a log-Logística é usada para o ajuste da umidade do solo (Souza, Neto e Souza, 2021).

Tabela 1 – Distribuições de probabilidade

Distribuição	**f.d.p**	**Função acumulada**
Gama	$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$	$F(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$
Log-Logística	$f(x) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}\left[1+\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-1}$	$F(x) = \left[1+\left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1}$

Na tabela 1 α, β e γ (apenas para a log-Logística) são parâmetros de escala, forma e localização da distribuição e *x* é a série acumulada da variável com base na escala de tempo. Caso a *F(x)* apresente valores nulos, é realizado o ajuste $H(x) = q + (1 - q)F(x)$, onde q denota a probabilidade de ocorrência de zeros na série histórica. Por fim, aplica-se a padronização

$$SI = \Phi^{-1}[\mathrm{H(x)}]$$

onde SI é o índice padronizado e Φ^{-1} é a função inversa da distribuição normal padrão. A escala utilizada foi a anual (acumulado de 12 meses).

Teste Mann-Kendall modificado (MMK)

O teste Mann-Kendall modificado (Yue e Wang, 2004) trata-se de um método estatístico não paramétrico usado para identificar possíveis tendências monotônicas em uma série temporal; no qual, para uma dada série temporal de *n* dados: $X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ a estatística *S* do teste é dada por

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(x_j - x_i), \text{com } sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} 1, & if\ x_j > x_i \\ 0, & if\ x_j = x_i \\ -1, & if\ x_j < x_i \end{cases}$$

onde x_j e x_i são os valores de dados sequenciais. A estatística Z do teste MMK é dada por

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)^*}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)^*}}, & S < 0 \end{cases}, \text{onde } Var(S)^* = Var(S).\frac{n}{n^*} \qquad (2)$$

em que Var(S) é a variância do teste MMK, dada por

$$Var(S) = \frac{1}{18}\left[n\,(n-1)(2n-5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right], \quad (3)$$

e o fator de correção $\frac{n}{n^*}$ é definido por $\frac{n}{n^*} = 1 + 2\sum_{k=1}^{n-1}(1 - k/n)\rho_k$, sendo n o número de dados da série temporal original, $\mathbf{n}^*$ o número efetivo de observações independentes e ρ_k o coeficiente de correlação serial populacional, que pode ser representado pelo coeficiente de correlação serial lag-k de amostra, como $\boldsymbol{r_k} = \frac{\frac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}(X_t-\bar{X}_t)(X_{t+k}-\bar{X}_t)}{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(X_t-\bar{X}_t)^2}$, em que k representa o intervalo de tempo (ou a distância) entre os pares correlacionados (X_t, X_{t+1}) e $\bar{X}_t = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t$ é a média da amostra. Assim como o teste Mann-Kendall original, valores positivos (negativos) de Z indicam tendências crescentes (decrescentes). Para fins de teste, o valor p (ou *pv*) é calculado como $pv = 2\min[\varphi(Z), 1 - \varphi(Z)]$, em que φ é a função de distribuição acumulada da distribuição normal padrão. A hipótese nula é rejeitada quando *pv* é menor que o nível de significância α escolhido. Para séries temporais hidrometeorológicas, o valor comumente utilizado é α = 5% (também adotado no presente estudo).

Teste de inclinação de *Sen*

O estimador *Sen's slope* (Sen, 1968) é um método não paramétrico que foi proposto para estimar a verdadeira inclinação de uma tendência existente. Para realização do teste, calcula-se a inclinação $\mathrm{Q_{med}}$

$$\mathrm{Q_{med}} = \mathrm{median}\left(\frac{x_j - x_i}{j-i}\right), i < j, \quad (5)$$

onde x_j e x_i são valores nos tempos j e i, respectivamente, e $\mathrm{Q_{med}}$ reflete a inclinação da tendência. Os resultados do teste Mann-Kendall modificado e *Sen's slope* foram gerados por meio do pacote *modifiedmk* (Patakamuri e Patakamuri, 2020).

Frequência de seca

A frequência da seca anual é calculada pela razão entre o número de meses em que ocorreu a seca e o número meses do ano (12). A fórmula é definida como $P_i = (n/12)\,.100\%$, onde n é o número de meses com do índice que são inferiores a -0,5 (Silva Júnior *et al*., 2024) e i é o ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta as séries dos índices padronizados extraídos das variáveis climáticas do produto TerraClimate para o período de 1970-2019. O valor máximo de SPI-12 (2,47) ocorreu no ano de 1985, um ano de La Niña (Correia Filho *et al*., 2019), enquanto que o menor valor (-2,93) ocorreu

em 2013, em meio a uma das maiores secas do Nordeste (Cunha *et al*., 2018). O menor valor de SSMI-12 (-1,97) ocorreu em julho de1993, ano de um forte El Niño do Nordeste; mesmo ano do menor valor de SRI-12 (-1,22) em junho de 1993.

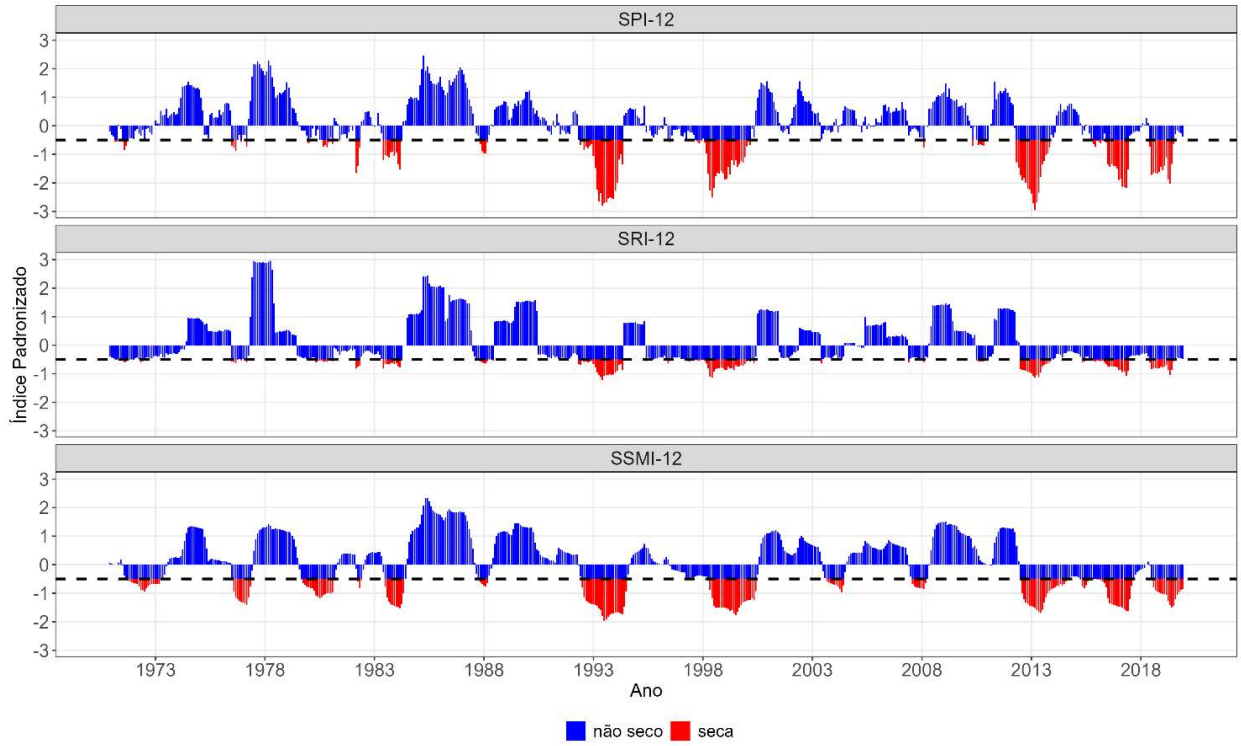


Figura 2 – Índices padronizados (SPI-12, SSMI-12 e SRI-12). A linha tracejada preta indica o limiar de seca

A análise de tendência desses índices pode ser verificada na Tabela 2, onde todos os resultados do teste Mann-Kendall modificado apresentaram valores-p menores que o nível de significância de 5% e, rejeitando a hipótese nula do teste (ausência de tendência) e mostrando que existe evidência significativa (valor-p < 0,05) para a presença de tendência negativa para todos os índices padronizados (Z_{SPI-12} = -4,077; $Z_{SSMI-12}$ = -2,899; Z_{SRI-12}= -2,994) no município em questão, o que direciona o município para um cenário de agravamento da seca.

Tabela 2 – Tendência dos índices padronizados

Índice	Z	Sen's slope	valor-p	Tendência
SPI-12	-4,077	-0,0012	0,000045	**Negativa**
SSMI-12	-2,899	-0,0011	0,0037	**Negativa**
SRI-12	-2,994	-0,00056	0,0027	**Negativa**

A frequência de seca é apresentada na Figura 3, onde é possível observar os picos da frequência do SPI-12 (anos em que com frequência de seca igual a 1, ou seja, todos os meses foram secos) que ocorreram anos de 1993 e 1999. A seca agrícola foi a que mais apresentou mais anos de picos, ao todo, em 7 anos (1972, 1980, 1993, 1999, 2013, 2016 e 2019); e a seca hidrológica, representada

pelo SRI-12, apresentou picos de frequência em 1993, 1998, 1999 e 2016. Muitos desses anos foram de ocorrência de El Niño e condições de seca de moderada a severa (Silva *et al*., 2025).

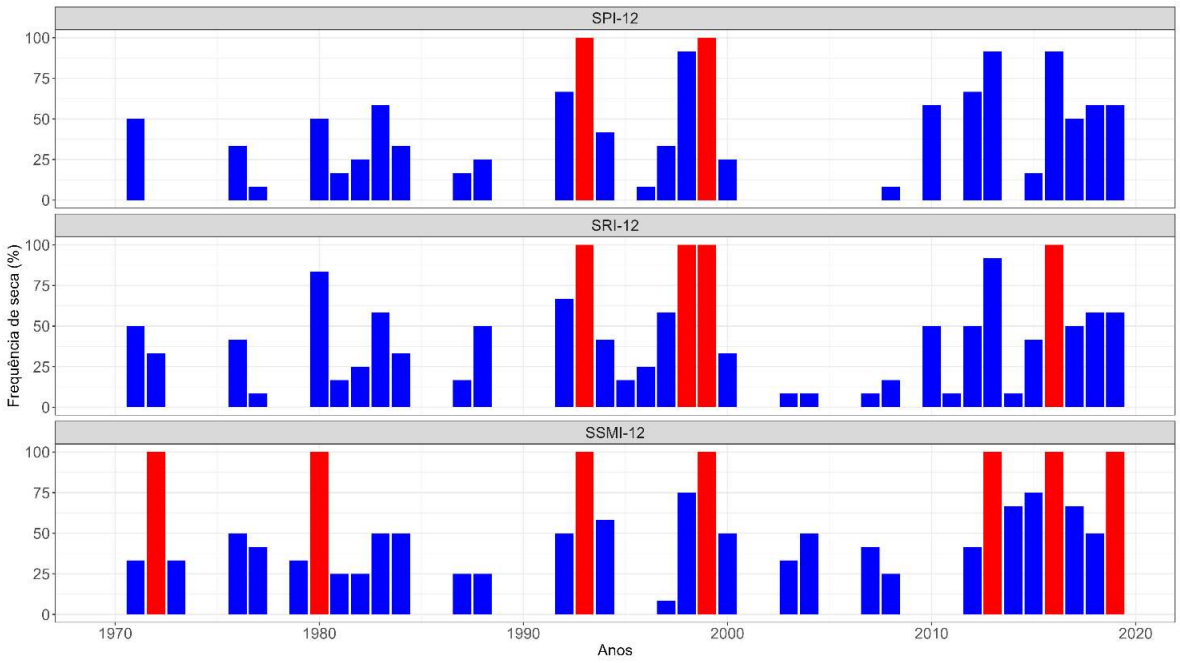


Figura 3 – Frequência de eventos de seca de 1970 a 2019

Os eventos de secas identificados pelo SPI-12 ocorreram com menor frequência do que os outros índices padronizados, apresentando mais eventos anos de 2010 e 2012 (Figura 4).

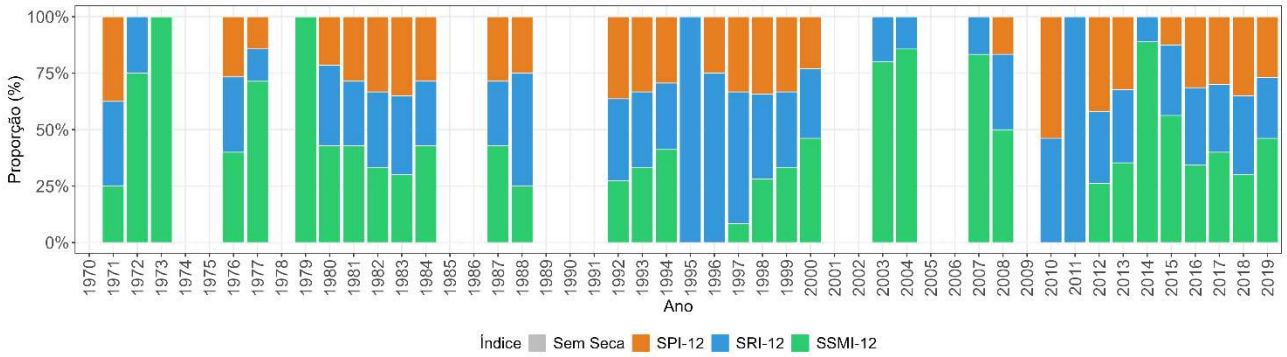


Figura 4 – Proporção de eventos de seca

Os eventos do SSMI-12 foi ocorrem mais em 20 anos (1972, 1973, 1976, 1977, 1979, 1980, 1981, 1984, 1987, 1994, 2000, 2003, 2004, 2007, 2008, 2013, 2014, 2015, 2017 e 2019), conforme a tabela 2, seguidos dos eventos do SRI-12, com seis anos (1988, 1995, 1996, 1997, 1998 e 2011). Existem também anos em que há a mesma quantidade de eventos seca de diferentes índices. Durante quatro anos ocorreram a mesma quantidade de eventos secos do SPI-12 e do SRI-12 (1971, 1983, 1992 e 2018). Em três anos, ocorreram o mesmo número de eventos secos em todos os índices. Em apenas um ocorreu a mesma frequência para o SSMI-12 e SRI-12 (2016). A tabela 3 apresenta a tendência das frequências de cada tipos de seca e nela é possível perceber que apenas a frequência

hidrológica (SRI-12) apresentou tendência significativa (valor-p < 0,05) e positiva. A inclinação da tendência indicou um crescimento de 0,278 pontos percentuais anuais na frequência de seca, concluindo que o município de Surubim, ao longo dos anos, vem sofrendo cada vez mais com eventos climáticos de déficit de escoamento superficial (hidrológica).

Tabela 3 – Tendência das frequências de seca

Variável	Z	*Sen's slope*	valor-p	Resultado
Freq. SPI-12	1,815	0	0,06944471	Sem tendência
Freq. SSMI-12	1,721	0	0,08527815	Sem tendência
Freq. SRI-12	3,604	0,002778	0,0003126	**Positiva**

CONCLUSÃO

A partir dos resultados para o município de Surubim tem seguido para um cenário de redução da disponibilidade crítica, pois todos os índices padronizados apresentando tendência significativas para queda, principalmente para a precipitação. O estudo também concluiu que a seca agrícola, representada pelo SSMI-12, é a que apresenta maior predominância ao longo dos anos, com seus eventos sendo os mais frequentes em 20 dos 50 anos analisados. Por fim, os eventos de secas hidrológicas (SRI-12) apresentaram tendência significativa para crescimento de 1970 a 2019, diferente das frequências dos outros índices.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsa de Pós-Graduação e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa por meio da bolsa de produtividade em pesquisa (nº 306590/2024-7).

REFERÊNCIAS

Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). *"TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015".* Scientific data, 5(1), 170191., p. 01-09.

Correia Filho, W. L. F., De Oliveira-Júnior, J. F., De Barros Santiago, D., De Bodas Terassi, P. M., Teodoro, P. E., De Gois, G.,& Dos 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*(4), 315-337.

Cunha, A. P. M., Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G. G., Brown, M., Garcia, S. R., Brito, S. B., & Carvalho, M. A. (2018). *"Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast*". Atmospheric Science Letters, 19(10), e855.

Dong, Z., Jia, W., Sarukkalige, R., Fu, G., Meng, Q., & Wang, Q. (2020). *"Innovative trend analysis of air temperature and precipitation in the Jinsha River Basin, China"*. Water, v. 12, n. 11, p. 3293.

Duarte, C. C., Nóbrega, R. S., & Coutinho, R. Q. (2015). Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. Revista de Geografia (UFPE), v. 32, n. 2.

El Kasri, J., Lahmili, A., Soussi, H., Jaouda, I., & Bentaher, M. (2021). *"Trend analysis of meteorological variables: rainfall and temperature"*. Civil Engineering Journal, v. 7, n. 11, p. 1868-187.

Freitas, P. A., Oliveira, L. M. M., de Sales Barbosa, R. F., & Montenegro, S. M. G. L. (2018). "*Evapotranspiração de referência diária por diferentes modelos na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe (Pernambuco-Brasil)"*. Revista brasileira de meio ambiente, v. 4.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2024). *"Produção da Pecuária Municipal"*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html. Acesso em: 05 jun. 2026.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2025). *"Surubim: panorama do município"*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/surubim.html. Acesso em: 05 jun. 2026.

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). "*The relationship of drought frequency and duration to time scales"*. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).

Medeiros, F. J., De Oliveira, C. P., & Torres, R. R. (2020). *"Climatic aspects and vertical structure circulation associated with the severe drought in Northeast Brazil (2012–2016)"*. Climate Dynamics, v. 55, n. 9, p. 2327-2341.

Morais, Y., França, L., De Queiroz, W., Souza, W., & Galvincio, J. (2016). Climate variability and extreme events occurrence in Petrolina-PE municipality. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, *6*, 175-183.

Nóbrega, R. S., Farias, R. F. D. L., & Santos, C. A. C. D. (2015). *"Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos"*. Revista brasileira de meteorologia, v. 30, n. 2, p. 171-180

PATAKAMURI, S. K., O'Brien, N., & PATAKAMURI, M. S. K. (2020). *Package 'modifiedmk'*. Cran. R-project.

SANTOS, J. M. L. DOS, DANTAS-TORRES, F., MATTOS, M. R. F., LINO, F. R. L., ANDRADE, L. S. S., DE SOUZA, R. C. A.,. & SIMÕES-MATTOS, L. (2010). *"Prevalence of anti-Leishmania spp antibodies in dogs from Garanhuns, in the middle scrub zone (Agreste) of Pernambuco"*. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, v. 43, n. 1.

Saldanha, R., Akbarinia, R., Valduriez, P., Pedroso, M., Ribeiro, V., Cardoso, C., Pena, E., & Porto, F. (2023). *"Brclimr: Fetch zonal statistics of weather indicators for brazilian municipalities"* [https://rfsaldanha.github.io/brclimr/, https://github.com/rfsaldanha/brclimr].

Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco (SRHS). (2026). *"A SRHS toma medidas para reduzir a escassez hídrica em Pernambuco"*. Recife: Governo do Estado de Pernambuco. Disponível em: https://www.srhs.pe.gov.br/mais/noticias/a-srhs-toma-medidas-para-reduzir-a-escassez-hidrica-em-pernambuco. Acesso em: 05 jun. 2026.

Sen, P. K. (1968). *"Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau"*. Journal of the American statistical association, v. 63, n. 324, p. 1379-1389.

Sharma, V., Nicholson, C., Bergantino, A., Irmak, S., & Peck, D. (2020). *"Temporal trend analysis of meteorological variables and reference evapotranspiration in the inter-mountain region of Wyoming"*. Water, v. 12, n. 8, p. 2159.

Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). *"Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought"*. Geophysical research letters, v. 35, n. 2.

Silva, J. L. B., de Albuquerque Moura, G. B., da Silva, M. V., de Souza, R. V., Guedes, P. M. O. L., de França, Ê. F., & Hozana, A. (2020). *"Inferência Exploratória de Dados Espaço-Temporal da Precipitação Pluviométrica no Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Geografia Física"*, 13(05), 2019-2036.

Silva Júnior, I. B., da Silva Araújo, L., Stosic, T., Menezes, R. S. C., & da Silva, A. S. A. (2024). *"Space-time variability of drought characteristics in Pernambuco, Brazil"*. Water*, v. 16, n. 11, p. 1490.*

Silva, M. D. P. B., de Oliveira, V. P. V., da Silva, M. L., da Silveira, V. L., de Oliveira, J. P., de Amorim Oliveira, M., & Assunção Filho, F. A. F. (2025). *"Drought in northeast brazil: history, climatic and social implications"*. Revista Brasileira de Climatologia, *37*, 820-842.

Souza, A. G. S. S., Neto, A. R., & de Souza, L. L. (2021). *"Soil moisture-based index for agricultural drought assessment: SMADI application in Pernambuco State-Brazil"*. Remote Sensing of Environment, 252, 112124.

Silva, R. O. B. D., Montenegro, S. M. G. L., & Souza, W. M. D. (2017). *"Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco"*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 03, p. 579-589.

Tibúrcio, I. M., Neto, V. R. P., Bello, R. K., Silveira, N. T., de Santana, S. H. C., da Silva, J. N. B., & Galvíncio, J. D. (2024). *"Projeção e análise dos impactos das mudanças climáticas no balanço hídrico na bacia hidrográfica do Moxotó (Pernambuco)"*. Meio Ambiente (Brasil), v. 6, n. 1

Xiang, Y., Wang, Y., Chen, Y., Bai, Y., Zhang, L., & Zhang, Q. (2020). *"Hydrological drought risk assessment using a multidimensional copula function approach in arid inland basins, China"*. Water, 12(7), 1888.

Yue, S.; Wang, C. (2004). *"The mann-kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series"*. Water resources management, Springer, v. 18, n. 3, p. 201–218.