ASSOCIAÇÃO ENTRE A SEVERIDADE DA SECA E A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EM PERNAMBUCO: UM ESTUDO DE CASO COM MILHO E FEIJÃO

Lucélia Kátia de Lima [1]; Ivanildo Batista da Silva Júnior [2] ; Guilherme Rocha Moreira [2] & Antonio Samuel Alves da Silva [2]

RESUMO – Objetivou-se avaliar a associação entre a severidade da seca e a produção de milho e feijão nos municípios pernambucanos de Araripina (Sertão) e São João (Agreste). A análise compreendeu o período de 1974 a 2024, utilizando dados de produção agrícola do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) e precipitação da base Brazilian Daily Weather Gridded Data (BRDWGD). A severidade da seca foi obtida a partir da combinação do Standardized Precipitation Index (SPI) com run theory, nas escalas de 1, 3 e 6 meses. Os resultados revelaram correlações negativas e significativas entre a severidade da seca e a produção das culturas analisadas. Em Araripina, a produção de milho apresentou maior correlação com a severidade derivada do SPI-3 (r = -0,49), enquanto em São João a produção de feijão apresentou maior correlação com a severidade derivada do SPI-1 (r = -0,47). As análises de tendência indicaram redução da produção de milho e aumento da severidade da seca em Araripina, enquanto São João apresentou aumento da produção de feijão e redução da severidade da seca na escala SPI-1. Os resultados evidenciam a importância da seca na variabilidade da produção agrícola regional.

ABSTRACT– The objective of this study was to evaluate the association between drought severity and corn and bean production in the municipalities of Araripina (Sertão) and São João (Agreste), Pernambuco State, Brazil. The analysis covered the period from 1974 to 2024 using agricultural production data obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics Automatic Recovery System (SIDRA) and precipitation data from the Brazilian Daily Weather Gridded Data (BRDWGD) dataset. Drought severity was obtained by combining the Standardized Precipitation Index (SPI) and Run Theory at the 1-, 3-, and 6-month time scales. The results revealed negative and significant correlations between drought severity and crop production. In Araripina, corn production showed the strongest correlation with drought severity derived from SPI-3 (r = -0.49), whereas in São João, bean production showed the strongest correlation with drought severity derived from SPI-1 (r = -0.47). Trend analyses indicated a decrease in corn production and an increase in drought severity in Araripina, while São João showed an increase in bean production and a decrease in drought severity at the SPI-1 scale. The results highlight the importance of drought in the variability of regional agricultural production.

Palavras-Chave – Standardized Precipitation Index (SPI); Run Theory; Pernambuco.

[1]) Universidade Federal de Pernambuco (UFRPE), Codai, São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil. (83) 999580443 E-mail: lucelia.lima@ufrpe.br
[2]) Universidade Federal de Pernambuco (UFRPE), Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada (PPGBEA), Recife-PE, Brasil.

1 – INTRODUÇÃO

A produção de milho e feijão possui elevada importância socioeconômica para o estado de Pernambuco, desempenhando papel fundamental na segurança alimentar, na geração de renda e no desenvolvimento de cooperativas e agroindústrias (Amorim; Santos, 2024). Essas culturas constituem a base da alimentação da população brasileira, destacando-se o feijão como importante fonte de nutrientes e o milho como um dos cereais mais consumidos e utilizados na alimentação humana e animal (Ojiewo *et al*., 2015; Ai; Jane, 2016; Chen *et al*., 2026). Em Pernambuco, destacam-se os municípios de São João, no Agreste, e Araripina, no Sertão, pela elevada produção de feijão e milho, respectivamente.

Entretanto, a produtividade dessas culturas está diretamente relacionada às condições climáticas, especialmente à disponibilidade hídrica (Magalhães Neto, 2019). A seca meteorológica caracteriza-se pela ocorrência de precipitação abaixo das condições climatológicas normais durante determinado período. Entre os índices mais utilizados para seu monitoramento destaca-se o Standardized Precipitation Index (SPI), que permite avaliar condições de déficit e excesso de precipitação em diferentes escalas temporais (McKee *et al.,* 1993). As escalas 1 (SPI-1), 3 (SPI-3) e 6 (SPI-6) meses possibilitam analisar desde déficits de curto prazo até condições sazonais e de médio prazo, potencialmente relacionadas ao desenvolvimento e à produtividade das culturas agrícolas.

No estado de Pernambuco, os impactos da estiagem têm sido particularmente severos para os cultivos de milho e feijão, considerados sensíveis ao déficit hídrico (Silva *et al.,* 2021). Reduções na precipitação durante fases críticas do desenvolvimento dessas culturas podem comprometer o crescimento vegetativo, a formação dos grãos e, consequentemente, a produtividade agrícola. Estudos realizados no município de São João demonstraram que a seca ocorrida entre 2012 e 2015 provocou redução das áreas cultivadas e da produção de feijão, afetando diretamente a renda dos agricultores e o desenvolvimento econômico local (Silva *et al.,* 2021). Apesar da reconhecida influência da disponibilidade hídrica sobre a produção agrícola, ainda são escassos estudos que investigam a associação entre a severidade da seca e a produção de milho e feijão em municípios representativos de distintas regiões climáticas de Pernambuco.

Diante desse cenário, compreender os efeitos da seca sobre a produção de milho e feijão nesses municípios torna-se fundamental para o planejamento e a gestão da atividade agrícola. Nesse contexto, a investigação da associação entre a severidade da seca e a produção dessas culturas, bem como das tendências temporais dessas variáveis, pode fornecer subsídios para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e fortalecimento da resiliência da agricultura frente à variabilidade climática.

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a associação entre a severidade da seca, obtida a partir do SPI, e a produção de milho em Araripina e de feijão em São João, bem como investigar as tendências temporais dessas variáveis no período de 1974 a 2024.

2 - MATERIAIS E METODOS

2.1 Área de estudo e dados

O estado de Pernambuco, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta forte contraste pluviométrico entre o Sertão semiárido e as regiões mais úmidas do Agreste e da Zona da Mata (Alvares *et al*., 2013). Neste estudo foram selecionados os municípios de Araripina, localizado no Sertão pernambucano, e São João, situado no Agreste do estado (Figura 1). A escolha desses municípios foi baseada na relevância agrícola das culturas analisadas e no contraste dos regimes pluviométricos característicos das regiões onde estão inseridos. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o período de 1974 a 2024, Araripina apresentou a maior produção média de milho entre os municípios pernambucanos, enquanto São João apresentou a maior produção média de feijão.

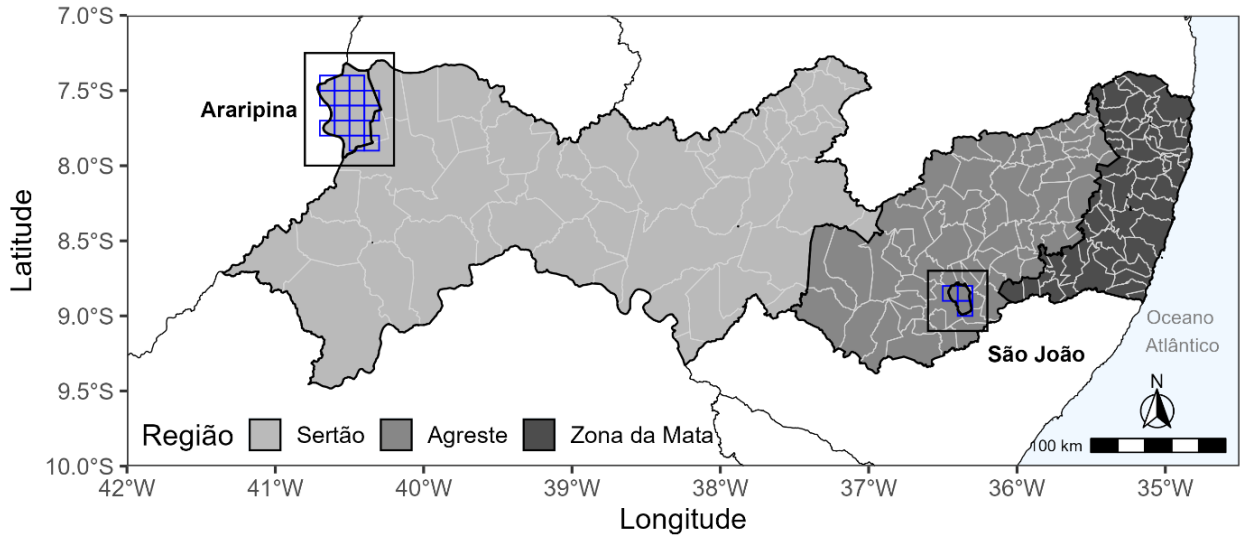


Figura 1. Localização dos municípios de Araripina (Sertão) e São João (Agreste) no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. As quadrículas em azul indicam os pixels do Brazilian Daily Weather Gridded Data (BRDWGD).

Os dados de produção agrícola foram obtidos junto ao Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA (https://sidra.ibge.gov.br/home/cnt/brasil), considerando a quantidade produzida de milho em Araripina e de feijão em São João para o período de 1974 a 2024. Os dados de precipitação foram obtidos do Brazilian Daily Weather Gridded Data - BRDWGD

(https://sites.google.com/site/alexandrecandidoxavierufes/brazilian-daily-weather-gridded-data). Para cada município, foram selecionados os pixels da grade localizados em seu interior (Figura 1), sendo a precipitação municipal representada pela média desses pixels. Posteriormente, os dados diários foram agregados para a escala mensal, gerando as séries temporais utilizadas no cálculo do *Standardized Precipitation Index* (SPI).

2.2 Caracterização da seca e análise de associação

Para caracterizar os eventos de seca e avaliar sua relação com a produção agrícola, foi utilizado o Standardized Precipitation Index – SPI (McKee *et al.,* 1993) em conjunto com a metodologia Run Theory (Yevjevich, 1967). O SPI baseia-se na padronização das séries de precipitação, permitindo a comparação de condições de déficit e excesso hídrico em diferentes escalas temporais (1, 3, 6, 9 e 12 meses, por exemplo). O SPI foi calculado nas escalas de 1, 3 e 6 meses utilizando a distribuição Gamma, amplamente empregada em estudos de seca (Silva Júnior *et al*, 2024) e ao seu bom desempenho na representação da precipitação no Nordeste (Ximenes *et al*., 2021). Os eventos de seca foram definidos como períodos consecutivos com SPI inferior a -1,0. A severidade da seca (S) foi obtida pelo déficit acumulado do SPI em relação a esse limiar adotado,

$$S = \sum_{i=1}^{D} |SPI_i - l| \quad (1)$$

em que D representa a duração do evento e $l = -1$ o limiar adotado para caracterizar a seca. A associação entre severidade da seca e produção agrícola dos municípios analisados foi avaliada a partir da correlação de Spearman (Spearman, 1904).

2.3 Análise de tendências

As tendências temporais das séries de severidade da seca e produção milho e feijão nos municípios de Araripina e São João, respectivamente, foram avaliadas por meio do teste de Mann-Kendall (MMK) Modificado, proposto por Yue e Wang (2004). O MMK consiste em uma adaptação do teste de Mann-Kendall, incorporando uma correção para os efeitos da autocorrelação serial. No teste, o sinal da estatística Z indica a direção da tendência, enquanto sua significância estatística é avaliada por meio do p-valor (pv). O nível de significância adotado foi de 5%. A magnitude das tendências foi estimada pelo estimador não paramétrico Sen's Slope (Sen, 1968), calculado a partir da inclinação entre todos os pares de observações da série temporal,

$$b_{ij} = \frac{x_j - x_i}{j - i}, i < j \quad (2)$$

em que x_i e x_j representam observações da série nos instantes i e j, respectivamente. A magnitude da tendência ($\hat{\beta}$) corresponde à mediana de todos os valores de b_{ij}. Valores positivos de $\hat{\beta}$ indicam tendência crescente enquanto valores negativos indicam tendência decrescente.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a evolução temporal da severidade da seca e da produção de milho em Araripina-PE (1974-2024). A produção variou entre 0 e 19.113 toneladas, com média de 5.147 toneladas, sendo o maior volume registrado (19.113 toneladas) no ano de 1996. A partir de 1999, observa-se uma redução na produção, embora recuperações pontuais tenham ocorrido nos anos mais recentes. A severidade da seca apresentou comportamento irregular, com episódios isolados de maior intensidade distribuídos ao da série. Os eventos mais severos ocorreram nas escalas de 3 (SPI-3) e 6 (SPI-3) meses, destacando-se episódios ocorridos durante a década de 1990 e o início da década de 2010, os quais coincidem com eventos de El Niño.

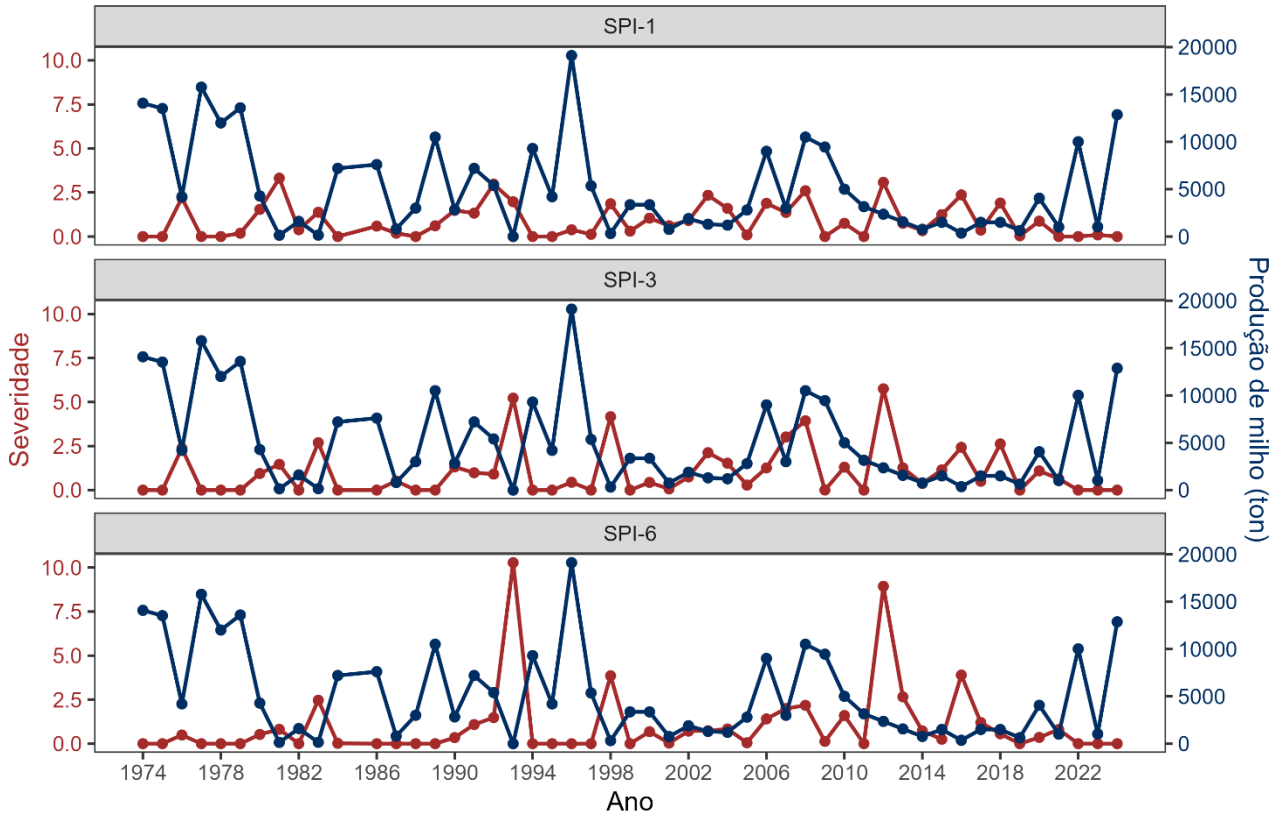


Figura 2. Variação interanual da severidade da seca meteorológica, estimada pelo SPI nas escalas de 1, 3 e 6 meses, e da produção de milho em Araripina-PE entre 1974 e 2024.

A evolução temporal da severidade da seca meteorológica e da produção de feijão em São João-PE entre 1974 e 2024 é apresentada na Figura 3. Ao longo da série histórica, a produção de feijão

variou entre 44 e 24.570 toneladas, com produção média de aproximadamente 4.450 toneladas. De modo geral, observa-se uma tendência de crescimento da produção ao longo do período analisado, com valores mais elevados registrados principalmente a partir da década de 1990 e máximos observados nos anos mais recentes da série, destacando-se o ano de 2021, quando a produção alcançou aproximadamente 24.570 toneladas. Em contrapartida, a severidade da seca apresenta comportamento irregular, caracterizado por poucos eventos de elevada intensidade e longos períodos com valores reduzidos, destacando-se os episódios observados em 1993 e 2012, especialmente nas escalas de 3 e 6 meses do SPI.

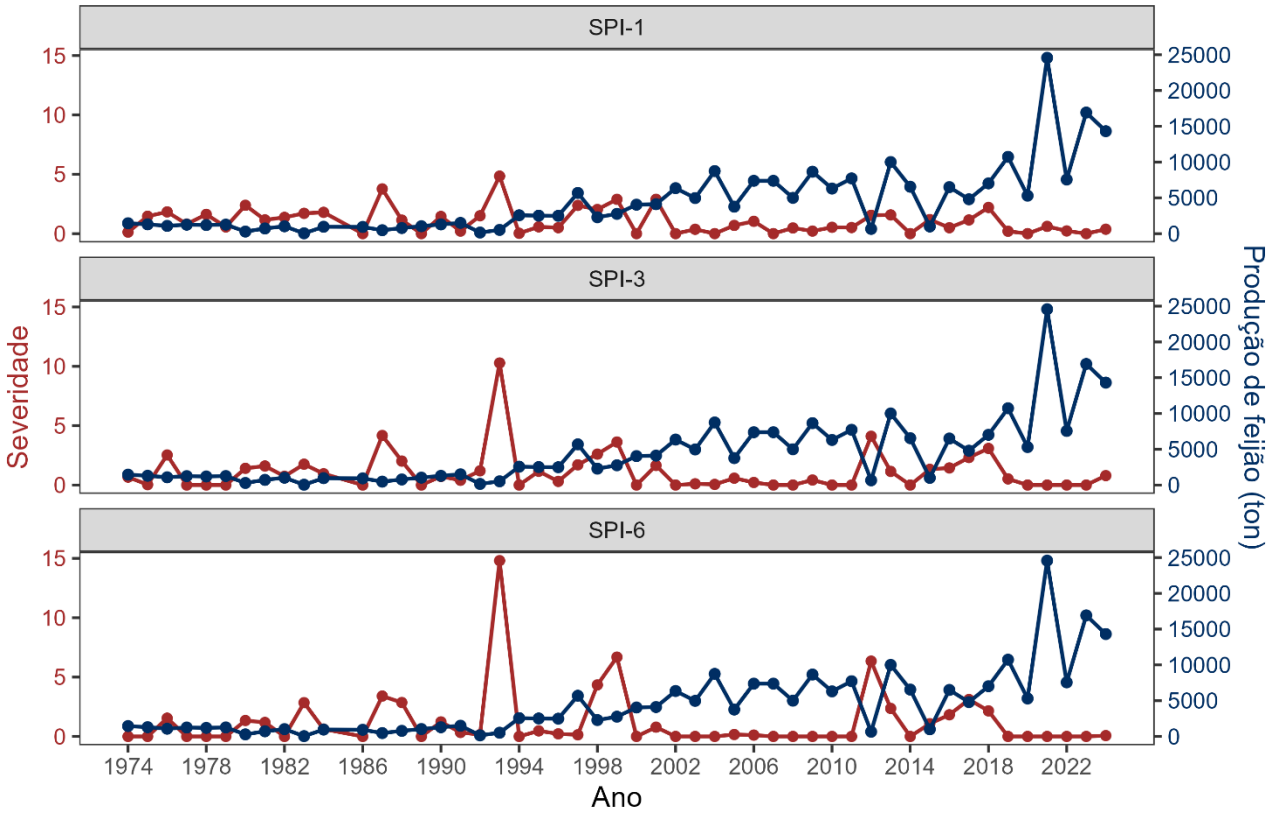


Figura 3. Variação interanual da severidade da seca meteorológica, estimada pelo SPI nas escalas de 1, 3 e 6 meses, e da produção de milho em São João-PE entre 1974 e 2024.

A séries temporais apresentadas nas Figuras 2 e 3 sugerem, de forma geral, que períodos caracterizados por maior severidade da seca tendem a coincidir com reduções na produção agrícola, enquanto anos com menor severidade frequentemente apresentam níveis mais elevados de produção. Esse comportamento pode ser observado em diferentes instantes das séries de milho em Araripina e de feijão em São João. Porém, tal padrão não se manifesta de forma uniforme ao longo de todo o período analisado, uma vez que reduções na produção também são verificadas em anos de baixa severidade, assim como determinados eventos severos de seca não são acompanhados por quedas na

produção agrícola. Esses resultados indicam que, embora a seca possa exercer influência sobre a dinâmica produtiva das culturas analisadas, outros fatores não contemplados nesta pesquisa, como o manejo dos nutrientes, a fertilidade do solo, as práticas culturais adotadas, o potencial genético dos cultivares e a ocorrência de pragas e doenças (Amado *et al*. (2002); Fancelli e Dourado, (2003) podem estar associados ao aumento na produção agrícola.

Diante dos padrões observados nas séries temporais, torna-se relevante avaliar quantitativamente a correlação entre a severidade da seca e a produção agrícola nos municípios analisados. Para isso, foram estimados os coeficientes de correlação de Spearman (Spearman (1904)) entre a severidade da seca, considerando diferentes escalas temporais do SPI, e a produção de milho em Araripina e de feijão em São João, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Correlação de Spearman entre a severidade da seca e a produção agrícola de milho em Araripina-PE e de feijão em São João-PE (1974–2024).

Município	Cultura	Carac. de seca	Escala	Cor. (r)	pv
Araripina	Milho	Severidade	SPI-1	-0,41	0,0033
		Severidade	SPI-3	-0,49	0,0003
		Severidade	SPI-6	-0,48	0.0005
São João	Feijão	Severidade	SPI-1	-0,47	0,0006
		Severidade	SPI-3	-0,40	0,0037
		Severidade	SPI-6	-0,42	0,0027

Em ambos os municípios, foram observadas correlações negativas e estatisticamente significativas (pv < 0,001), indicando que aumentos na severidade da seca tendem a estar correlacionados à redução da produção agrícola. Para o município de Araripina, a correlação varia entre -0,41 e -0,49, sendo a correlação mais intensa observada para a escala SPI-3 (r = -0,49). Em São João, a correlação variou entre -0,40 e -0,47, com correlação mais acentuada na escala SPI-1 (r = -0,47). Esses resultados sugerem que a variabilidade da produção de milho em Araripina apresentou maior correlação com a severidade da seca na escala SPI-3, enquanto a produção de feijão em São João apresentou maior correlação com a escala SPI-1. De modo geral, os resultados revelam correlações negativas de magnitude classificada como moderada (Nawaz *et al.* (2024)) entre a severidade da seca e a produção agrícola, sugerindo que eventos mais severos de seca contribuem para a redução da produção de milho e feijão nos municípios analisados. As diferenças entre as escalas podem estar relacionadas, por exemplo, às particularidades do ciclo produtivo e aos períodos de maior demanda hídrica.

Os resultados da análise de tendência obtidos pelo teste MMK são apresentados na Tabela 2. Para Araripina, observou-se tendência negativa e estatisticamente significativa para a produção de milho ($Z = -3{,}29$; $pv = 0{,}001$), com uma redução de aproximadamente 7,3 ton.ano^{-1} o longo do período analisado. Em relação à severidade da seca, foram identificadas tendências positivas significativas nas escalas SPI-3 ($Z = 2{,}05$; $pv = 0{,}041$) e SPI-6 ($Z = 3{,}44$; $pv = 0{,}001$), sugerindo aumento da severidade dos eventos de seca nessas escalas temporais. Para São João, a produção de feijão apresentou tendência positiva significativa ($Z = 4{,}55$; $pv < 0{,}001$), evidenciando aumento da produção de cerca de 18,8 ton.ano^{-1}ao longo da série histórica. Quanto à severidade da seca, foi observada tendência negativa significativa apenas para a escala SPI-1 ($Z = -4{,}87$; $pv < 0{,}001$), indicando redução da severidade da seca nessa escala temporal.

Tabela 2. Tendência (MMK) e sua inclinação (Sen's slope) para as séries de produção agrícola (milho e feijão) e severidade da seca em diferentes escalas do SPI nos municípios de Araripina-PE e São João-PE entre 1974 e 2024.

Município	Variável	Escala	Z	pv	Sen	Tendência
Araripina	Milho	-	-3,29	0,001	-7,333	Negative trend*
	Severidade	SPI-1	0,64	0,524	0,000	No trend
	Severidade	SPI-3	2,05	0,041	0,000	Positive trend*
	Severidade	SPI-6	3,44	0,001	0,002	Positive trend*
São João	Feijão	-	4,55	<0,001	18.833	Positive trend*
	Severidade	SPI-1	-4,87	<0,001	-0,016	Negative trend*
	Severidade	SPI-3	-1,71	0,087	0,000	No trend
	Severidade	SPI-6	-1,53	0,127	0,000	No trend

"*" denota tendência estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%.

Os resultados das análises de tendência mostram-se consistentes com as correlações observadas entre a severidade da seca e a produção agrícola. Em Araripina, a escala SPI-3, que apresentou a maior correlação significativa com a produção de milho (r = -0,49), também exibiu tendência significativa de aumento da severidade da seca, ao passo que a produção agrícola apresentou tendência de redução ao longo do período analisado. De forma semelhante, em São João, a escala SPI-1, que apresentou a maior correlação significativa com a produção de feijão (r = -0,47), foi caracterizada por tendência significativa de redução da severidade da seca, enquanto a produção agrícola apresentou tendência positiva. Embora esses resultados não permitam estabelecer relações causais, uma vez que outros fatores também influenciam a produção agrícola, eles reforçam a evidência de que as condições de seca desempenham papel relevante na variabilidade temporal da produção de milho e feijão nos municípios estudados.

4 - CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a severidade da seca meteorológica apresenta correlações negativas e estatisticamente significativas ($pv < 0{,}001$) com a produção de milho em Araripina e de feijão em São João. Em ambos os municípios pernambucanos, eventos mais severos de seca tendem a estar associados à redução da produção agrícola. As análises de tendência revelaram aumento da severidade da seca (SPI-3 e SPI-6) e redução da produção de milho em Araripina enquanto em São João foi observado aumento da produção de feijão e redução da severidade da seca (SPI-1). De modo geral, os resultados evidenciam a importância da seca como fator associado à variabilidade da produção agrícola e reforçam a necessidade de ações de monitoramento e adaptação para fortalecer a resiliência da produção de alimentos frente à variabilidade climática. Entretanto, outros fatores agronômicos, ambientais e de manejo, não considerados nesse estudo, também podem influenciar a variabilidade da produção das culturas analisadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (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

AI, Y.; JANE, J. (2016). "*Macronutrients in corn and human nutrition*". Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 15(3), pp. 581-598.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. (2013). *"Koppen's climate classification map for Brazil"*. Meteorologische Zeitschrift, Schweizerbart, 22(6) pp. 711–728.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. (2002). *"Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto"*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 26(1). pp. 241-248.

AMORIM, L. A.; SANTOS, A. M. (2024). *"Reflexos do Último Ciclo de Estiagem na Produção Agropecuária em Municípios Susceptíveis à Desertificação no Semiárido de Pernambuco"*. Geografia (Londrina), 33(1), pp. 249-263.

CHEN, R.; YANG, M.; QI, H.; LUO, X.; LIANG, Y.; CHEN, Z.; JIAN, T.; JIAN, J.: OUYANG, J. (2026). *"Post-harvest sorting of fresh corn based on semantic segmentation"*. Journal of Agriculture and Food Research, pp. 102656.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (2003). *"Milho: estratégias de manejo para alta produtividade"*. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV. pp. 208.

MAGALHÃES NETO, L. (2019). *"Os impactos das secas na produção de feijão, milho e mandioca e suas implicações para a economia de Pernambuco no período de 2006 a 2017"*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Economia, 2019. 71pp.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. (1993). *"The relationship of drought frequency and duration to time scales"*. In: EIGHTH CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anaheim. Proceedings [...]. Boston: American Meteorological Society, 1993. pp. 179–184.

NAWAZ, M. N.; HASEEB, M.; QAMAR, S. U.; HASSAN, W.; SHAHZAD, A. (2024). *"Gene expression programming-based multivariate model for earth infrastructure: predicting ultimate bearing capacity of rock socketed shafts in layered soil-rock strata"*. Modeling Earth Systems and Environment, 10 (4), pp. 5241-5256.

OJIEWO, C.; KEATINGE, D. J.; HUGHES, J.; TENKOUANO, A.; NAIR, R.; VARSHNEY, R.; SIAMBI, M.; MONYO, E.; SILIM, S. (2015). *"The role of vegetables and legumes in assuring food, nutrition, and income security for vulnerable groups in Sub-Saharan Africa"*. World Medical & Health Policy, 7(3), pp. 187-210.

SEN, P. K. (1968). *"Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau"*. Journal of the American Statistical Association, 63(324), pp. 1379–1389.

SILVA JÚNIOR, I. B.; ARAÚJO, L. S.; STOSIC, T.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, A. S. A. (2024). *"Space-Time Variability of Drought Characteristics in Pernambuco, Brazil*". Water, 16(11), pp 1490.

SILVA, R. N.; SOUZA, W. M.; SALES FILHO, R.; SILVA ANDRADE, H. M. L.; ANDRADE, L. P. (2021). *"A seca 2012-2015: os impactos na produção de feijão"*. Diversitas Journal, 6 (2), pp. 1841-1852.

SPEARMAN, C. (1904). "*The proof and measurement of association between two things*." The American Journal of Psychology, 15(1), pp 72–101.

XIMENES, P. D. S. M. P., SILVA, A. S. A. D., ASHKAR, F., & STOSIC, T. (2021). *"Best-fit probability distribution models for monthly rainfall of Northeastern Brazil"*. Water Science and Technology, *84*(6), pp 1541-1556.

YEVJEVICH, V. M. (1967). "*An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts"*. Fort Collins: Colorado State University, 1967. pp 25. (Hydrology Paper, n. 23).

YUE, S.; WANG, C. Y. (2004). *"The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series"*. Water Resources Management, 18(3), pp. 201–218.