EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA

Fernando Vítor Andrade Santos[1]; Ronaldo Guilherme Santos Lima[2]; Vania Elisabete Schneider[3] & Ludmilson Abritta Mendes[4]

Palavras-Chave – Análise de tendências, Mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

Variações na evapotranspiração influenciam diretamente o fluxo de calor latente, alterando o balanço de energia na superfície e, consequentemente, o calor sensível e a temperatura do ar, podendo modificar as condições climáticas regionais (Santos *et al*., 2020). Embora apresente comportamento espacialmente heterogêneo em escala global, a evapotranspiração tem mostrado tendência predominante de aumento nas últimas décadas (Javadian *et al*., 2020; Lima *et al*., 2026). Os maiores incrementos são observados em regiões úmidas, agrícolas e densamente vegetadas, enquanto áreas áridas e semiáridas exercem maior influência sobre sua variabilidade interanual (Javadian *et al*., 2020; Chen *et al*., 2026). Nesse contexto, este estudo analisou a evolução espaço-temporal da evapotranspiração potencial (ET) e suas tendências no Nordeste brasileiro, em Minas Gerais e no Espírito Santo.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo compreende os estados do Nordeste brasileiro, Minas Gerais e Espírito Santo, totalizando 2.190.588 km² e aproximadamente 79 milhões de habitantes (IBGE, 2022).

Obtenção dos dados

Utilizou-se a base Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD), com resolução espacial de 0,1° × 0,1° e cobertura contínua entre 1961 e 2020 (Xavier *et al*., 2022). Em ambiente R (Posit Team, 2024), com apoio do QGIS (QGIS, 2026), foi utilizado um shapefile dos estados estudados para extração das séries diárias de evapotranspiração potencial. Os dados foram organizados em dois períodos climatológicos (1961–1990 e 1991–2020) e agregados em médias anuais para cada célula da grade espacial.

Análise estatística das series temporais

As análises estatísticas foram realizadas no ambiente R. As séries anuais (1961–2020) foram submetidas aos testes de aleatoriedade, homogeneidade, independência (Pohlert, 2020) e estacionariedade (Trapletti; Hornik; Lebaron, 2020), visando verificar sua adequação ao teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Na presença de autocorrelação serial, aplicou-se o teste de Mann-Kendall Modificado (Hamed; Rao, 1998). As tendências estatisticamente significativas foram classificadas pelo coeficiente τ, cujos valores variam entre -1 e $+1$, indicando a direção e a intensidade das tendências (Sen, 1968; Naghettini; Pinto, 2007).

[1] Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD), Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: fvitor.fva@gmail.com
[2] Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD), Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: ronaldomuri424@gmail.com
[3] Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD), Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: veschnei@ucs.br
[4] Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD), Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: lamendes@academico.ufs.br

RESULTADOS

No período 1, os estados que apresentavam as maiores médias de ET total anual eram Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte, sendo este último com mais da metade de seu território com ET acima de 1800 mm. No período 2, houve um aumento considerável destas áreas, sendo o crescimento mais acentuado nos estados da Bahia, Pernambuco e Piauí (Figura 1A).

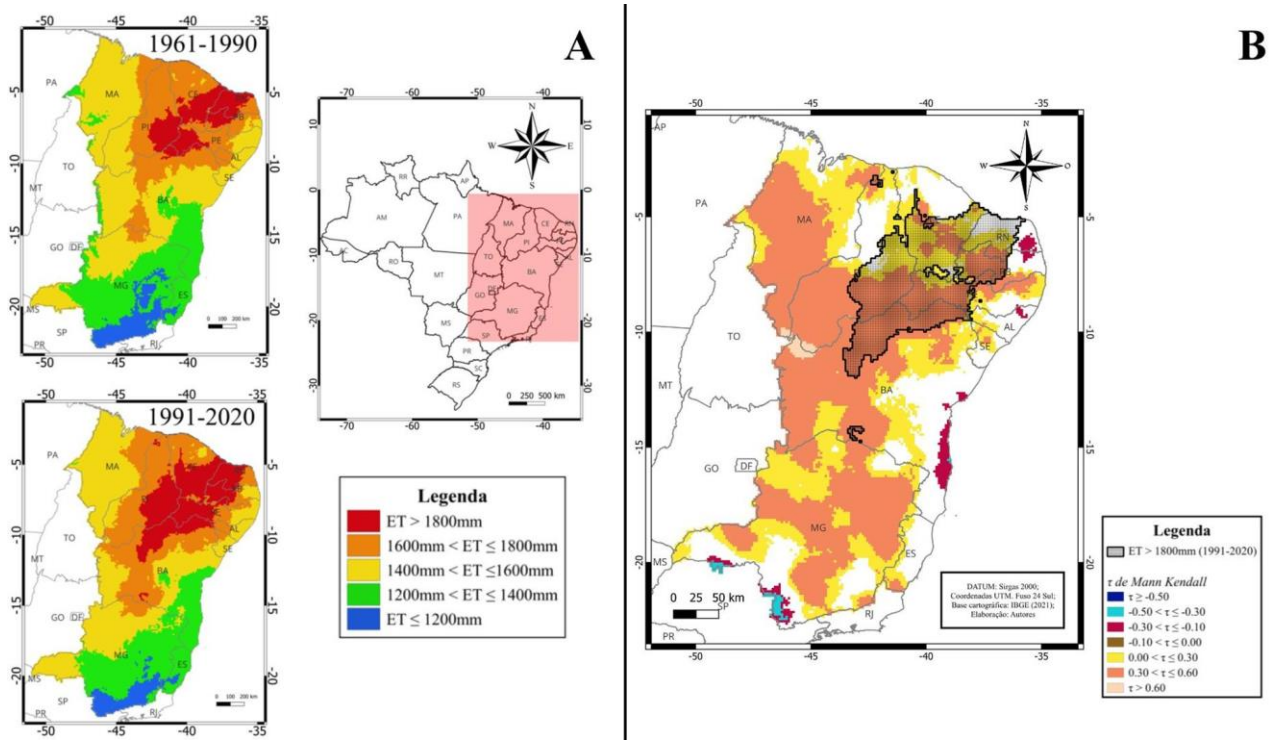


Figura 1: (A) Evolução temporal de ET, e (B) Análise estatística

A evolução da ET, em termos quantitativos, é apresentada na Tabela 1. Por ser uma região na qual o bioma predominante é a Caatinga, os valores elevados de ET podem estar associados ao aumento da temperatura e à mudança do uso da terra, particularmente por atividades agrossilvopastoris (Mapbiomas, 2025). Os dados da Tabela 1 evidenciam a expansão das classes de maior evapotranspiração, especialmente as superiores a 1800 mm, entre os dois períodos analisados.

Tabela 1: Evolução da ET na área de estudo.

Evapotranspiração (mm)		≤ 1200	1200-1400	1400-1600	1600-1800	≥ 1800
% da área total	Período 1	5,03	20,17	37,46	28,89	8,45
	Período 2	3,85	18,83	36,23	25,25	15,83

Fonte: Desenvolvida pelos autores.

A expansão das áreas com maiores valores de ET coincide com regiões que apresentaram intensa conversão da cobertura vegetal para usos agropecuários, especialmente na Bahia, Maranhão e Piauí (MapBiomas, 2025). A substituição da vegetação nativa da Caatinga por espécies cultivadas, associada ao aumento da temperatura e ao uso da irrigação, contribui para intensificar a evapotranspiração e favorecer processos de degradação ambiental, como a desertificação (Lemos Filho *et al.*, 2007; Rocha *et al.*, 2020).

A análise de tendências revelou predomínio de valores positivos de τ na maior parte da área de estudo, indicando aumento da evapotranspiração (Figura 1B). As tendências mais intensas (τ > 0,6) concentraram-se no sul do Maranhão, sul do Piauí e noroeste da Bahia, enquanto reduções foram observadas em áreas do litoral baiano, leste do Rio Grande do Norte, Paraíba, nordeste de Alagoas e divisa entre Minas Gerais e São Paulo. A sobreposição dessas tendências às áreas com ET superior a 1800 mm indica potencial expansão espacial dessas condições, sobretudo nos estados da Bahia, Pernambuco e Alagoas.

CONCLUSÕES

- Entre os períodos de 1961-1990 e 1991-2020, observou-se expansão das áreas com evapotranspiração superior a 1800 mm ano^{-1}, evidenciando aumento da demanda evaporativa e possíveis implicações na disponibilidade hídrica da área de estudo.
- A análise de tendências indicou predominância de aumento da evapotranspiração, com maior intensidade na Bahia e no Piauí, possivelmente relacionada às alterações no uso e cobertura da terra e às mudanças nas condições hidroclimáticas, implicando no planejamento ambiental e na gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022). Cidades e Estados: Alagoas. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/.

CHEN, H.; ZHANG, K.; ZHU, G.; FAN, L.; LI, X.; WANG, Y.; WANG, X.; SHANG, S.; JIA, J.; ZHU, Y.; XIAO, J. (2026). “The trend and interannual variability in the global terrestrial evapotranspiration are respectively dominated by humid regions and drylands”. Journal of Hydrology, v. 667, p. 134879.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. (1998). “A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data”. Journal of Hydrology, v. 204, p. 182–196.

JAVADIAN, M.; BEHRANGI, A.; FISHER, J. B.; LIU, Y.; TURK, F. J.; LAMBRI, T. (2020). “Global trends in evapotranspiration dominated by increases across large cropland regions”. Remote Sensing, v. 12, n. 7, p. 1221.

KENDALL, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. 4. ed. Charles Griffin, Londres.

LEMOS FILHO, L. C. D. A.; CARVALHO, L. G. D.; EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. M. T. D.; DANTAS, A. A. A. (2007). “Spatial-time analysis of evapotranspiration reference in the Minas Gerais State, Brazil”. Ciência e Agrotecnologia, v. 31, p. 1462-1469.

LIMA, R. G. S.; SOUZA NETO, I. R.; ALMEIDA, A. Q.; SCHNEIDER, V. E.; MENDES, L. A. (2026). “Spatiotemporal Evolution of Hydroclimatic Variables in the Brazilian Semi-Arid Region Through the Aridity Index and Susceptibility to Desertification”. International Journal of Climatology, v. 46, n. 5, p. 2351-2369.

MANN, Henry B. Non-parametric tests against trend. Econometrica, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MAPBIOMAS (2025). Projeto MapBiomas – Coleção 10 de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. MapBiomas, São Paulo.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. A. (2007). Hidrologia estatística. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, 552 p.

POHLERT, T. (2020). Trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R Package.

POSIT TEAM (2024). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston. QGIS DEVELOPMENT TEAM (2026).

QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

ROCHA JÚNIOR, R. L. D.; SILVA, F. D. D. S.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; SILVA, M. C. L. D.; PITA-DÍAZ, O. (2020). "Mudança de longo prazo e regionalização da evapotranspiração de referência no Nordeste brasileiro". Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. spe, p. 891-902.

SANTOS, C. A. C.; MARIANO, D. A.; NASCIMENTO, F. C. A.; DANTAS, F. R. C.; OLIVEIRA, G.; SILVA, M. T.; SILVA, L. L.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G.; SAFA, B.; MEDEIROS, S. S.; NEALE, C. M. U. (2020). "Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 85, p. 101982.

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

TRAPLETTI, A.; HORNIK, K.; LEBARON, B. (2020). Package "tseries" – Time Series Analysis and Computational Finance. R Package.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. (2022). "New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)". International Journal of Climatology, p. 1-15.