XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

ANÁLISE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO E SUA RELAÇÃO COM EVENTOS EL NIÑO E LA NIÑA

João Hipólito Paiva de Britto Salgueiro[1]; Camila Oliveira de Britto Salgueiro[2]; Estephania Silva Jovino[3]; Juliana Farias Santos de Moraes[4]; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva[5]; Leidjane Maria Maciel de Oliveira[6]; Sylvana Melo dos Santos[7]

Abstract: This study analyzed precipitation variability across the nine states of Northeast Brazil between 1960 and 2025 and its relationship with El Niño–Southern Oscillation (ENSO) events. Data from ANA/HidroWeb underwent quality control, and the 50 most consistent stations per state were selected. Analyses included temporal trends, seasonal correlations, and statistical tests. The results indicated higher rainfall totals during La Niña years and reduced precipitation during El Niño in most states. Significant differences among ENSO phases ($p < 0.05$) were observed in eight states, except for Alagoas. ENSO influence was strongest during the MAM-AMJ period, with Maranhão and Piauí showing more pronounced responses. Increasing precipitation trends were identified in Pernambuco (+1.7 mm/year) and Sergipe (+4.9 mm/year).

Resumo: Este trabalho analisou a variabilidade da precipitação nos nove estados do Nordeste brasileiro entre 1960 e 2025 e sua relação com os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Dados da ANA/HidroWeb foram submetidos ao controle de qualidade, selecionando-se os 50 postos mais consistentes por estado. As análises incluíram tendências temporais, correlações sazonais e testes estatísticos. Os resultados indicaram maiores totais pluviométricos em anos de La Niña e redução da precipitação durante El Niño na maioria dos estados. Diferenças significativas entre fases do ENOS ($p < 0,05$) ocorreram em oito estados, exceto Alagoas. A influência do ENOS foi mais intensa no trimestre MAM-AMJ, com Maranhão e Piauí apresentando respostas mais expressivas. Tendências de aumento da precipitação foram observadas em Pernambuco (+1,7 mm/ano) e Sergipe (+4,9 mm/ano).

Palavras-Chave – Precipitação; Nordeste brasileiro; Tendência climática.

1 - INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro (NEB) é uma das regiões mais vulneráveis do país em relação à variabilidade climática da precipitação, caracterizado por irregularidade espaço-temporal acentuada, alternando entre períodos de estiagem prolongada e episódios de chuvas intensas. Essa variabilidade

1) Serviço Geológico do Brasil – SGB, Superintendência Regional de Recife – SUREG-RE. Avenida Sul, 2291, Afogados, 50.770-011, Recife – PE – Brasil. Fone: +55 81 3316-1400. E-mail: joao.salgueiro@sgb.gov.br.
2) Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, UFPE. E-mail: camila.salgueiro@ufpe.br.
3) Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, UFPE. E-mail: estephania.jovino@ufpe.br.
4) Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, UFPE. E-mail: juliana.fmoraes@ufpe.br.
5) Professor Associado, PPGEC, DECIV, CTG, UFPE. Fone: +55 81 2126-7762. E-mail: anderson.paiva@ufpe.br.
6) Professora Adjunta, PPGEC, DECIV, CTG, UFPE. Fone: +55 81 2126-8223. E-mail: leidjane.oliveira@ufpe.br.
7) Professora Titular, PPGEC, DECIV, CTG, UFPE. Fone: +55 81 2126-8223. E-mail: sylvana.santos@ufpe.br.

compromete diretamente o abastecimento hídrico, a produção agrícola e a segurança de populações em situação de risco, especialmente no Semiárido nordestino.

Dentre os principais moduladores da precipitação regional, destaca-se o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que altera os padrões de circulação atmosférica global por meio das variações da temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial. De maneira geral, eventos de El Niño tendem a inibir a formação de sistemas convectivos no NEB, reduzindo os totais pluviométricos, enquanto episódios de La Niña estão associados ao incremento da precipitação regional (Gonzalez *et al.*, 2013). No entanto, a resposta da precipitação ao ENOS no NEB não é homogênea. A heterogeneidade do sinal climático entre os estados reflete a interação entre o ENOS e outros sistemas atmosféricos regionais, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais (Coutinho *et al*., 2018).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade temporal da precipitação nos nove estados do Nordeste brasileiro entre 1960 e 2025, investigando a relação entre os totais pluviométricos anuais e as fases do ENOS classificadas pelo Oceanic Niño Index (ONI) da NOAA. Buscou-se, ainda, identificar os estados com maior sensibilidade às fases do ENOS por meio de análises exploratórias, testes estatísticos não paramétricos e análise de tendências de longo prazo pelo método de Mann-Kendall.

2- METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido para os nove estados da Região Nordeste do Brasil: Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE). A região apresenta elevada variabilidade espaço-temporal da precipitação, influenciada por sistemas atmosféricos de escala regional e global, destacando-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e as teleconexões associadas ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

Base de Dados

Os dados observados de precipitação foram obtidos a partir da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), utilizando o plugin HidroWeb no software QGIS. A série histórica utilizada abrange o período de 1960 a 2025, incorporando dados de dois acervos complementares: (i) arquivos históricos do período 1960–1999 e (ii) dados recentes do período 2000–2025, ambos disponibilizados pela ANA/HidroWeb. Todos os arquivos pluviométricos disponíveis para cada

estado foram avaliados quanto à consistência temporal e à quantidade de dados válidos no período completo.

Selecionaram-se os 50 postos pluviométricos com maior número de registros válidos em cada estado, visando reduzir problemas associados à ausência de dados e maximizar a continuidade temporal das séries. Os dados foram processados em ambiente R, incluindo etapas de organização, padronização e controle de qualidade, conforme apresentado na Figura 1. Os registros que não atenderam aos critérios estabelecidos foram descartados.

Na primeira etapa, registros diários superiores a 450 mm foram descartados por indicarem possíveis erros de medição ou inconsistências nos bancos de dados. Em seguida, os registros considerados válidos foram agregados temporalmente, sem aplicação de procedimentos de interpolação ou imputação de valores ausentes. Dessa forma, os totais mensais e anuais foram calculados exclusivamente a partir dos dados efetivamente disponíveis em cada série.

Na terceira etapa, calculou-se a precipitação média estadual a partir dos 50 postos selecionados em cada estado. Para cada data, a precipitação estadual foi obtida por meio da média aritmética dos registros disponíveis, permitindo representar a variabilidade espacial e temporal da precipitação em escala estadual. Essa abordagem buscou maximizar a representatividade estatística das séries e reduzir os efeitos associados à descontinuidade observacional frequentemente encontrada nas redes pluviométricas do Nordeste brasileiro.

Classificação dos eventos ENOS

A classificação das fases do ENOS foi realizada com base no *Oceanic Niño Index* (ONI), disponibilizado pela NOAA. Foram utilizados os valores do índice ONI para os trimestres móveis do período de 1960 a 2025, permitindo avaliar a influência sazonal das anomalias de TSM do Pacífico Equatorial sobre a precipitação regional. A classificação anual adotou os critérios de limiar da NOAA: El Niño (ONI ≥ 0,5), La Niña (ONI ≤ -0,5) e Neutro (-0,5 < ONI < 0,5). A Tabela 1 apresenta a classificação completa do período analisado. Ressalta-se que no período de 1960 a 2025, foram identificados 15 anos de La Niña, 14 anos de El Niño e 37 anos de condições Neutras.

Tabela 1 – Classificação climática do período de 1960 a 2025 com base no índice ONI.

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ	Média	Classificação
1960	-0,1	-0,1	-0,1	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,06	**Neutro**
1961	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,03	**Neutro**
1962	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,21	**Neutro**
1963	-0,4	-0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,3	0,66	**El Niño**
1964	1,1	0,6	0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,35	**Neutro**
1965	-0,6	-0,3	-0,1	0,2	0,5	0,8	1,2	1,5	1,9	2	2	1,7	0,9	**El Niño**
1966	1,4	1,2	1	0,7	0,4	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	0,38	**Neutro**

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ	Média	Classificação
1967	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	0	0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,4	-0,3	**Neutro**
1968	-0,6	-0,7	-0,6	-0,4	0	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5	0,7	1	0,14	**Neutro**
1969	1,1	1,1	0,9	0,8	0,6	0,4	0,4	0,5	0,8	0,9	0,8	0,6	0,74	**El Niño**
1970	0,5	0,3	0,3	0,2	0	-0,3	-0,6	-0,8	-0,8	-0,7	-0,9	-1,1	-0,33	**Neutro**
1971	-1,4	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1	-0,9	-0,94	**La Niña**
1972	-0,7	-0,4	0,1	0,4	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	2,1	2,1	0,93	**El Niño**
1973	1,8	1,2	0,5	-0,1	-0,5	-0,9	-1,1	-1,3	-1,5	-1,7	-1,9	-2	-0,63	**La Niña**
1974	-1,8	-1,6	-1,2	-1	-0,9	-0,8	-0,5	-0,4	-0,4	-0,6	-0,8	-0,6	-0,88	**La Niña**
1975	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8	-1	-1,1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,6	-1,7	-1,06	**La Niña**
1976	-1,6	-1,2	-0,7	-0,5	-0,3	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,8	-0,05	**Neutro**
1977	0,7	0,6	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,5	**El Niño**
1978	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0	-0,1	**Neutro**
1979	0	0,1	0,2	0,3	0,2	0	0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6	0,24	**Neutro**
1980	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0	-0,1	0	0,1	0	0,26	**Neutro**
1981	-0,3	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,28	**Neutro**
1982	0	0,1	0,2	0,5	0,7	0,7	0,8	1,1	1,6	2	2,2	2,2	1,01	**El Niño**
1983	2,2	1,9	1,5	1,3	1,1	0,7	0,3	-0,1	-0,5	-0,8	-1	-0,9	0,48	**Neutro**
1984	-0,6	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,6	-0,9	-1,1	-0,49	**Neutro**
1985	-1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	**La Niña**
1986	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,2	0,4	0,7	0,9	1,1	1,2	0,24	**Neutro**
1987	1,2	1,2	1,1	0,9	1	1,2	1,5	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	1,28	**El Niño**
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,9	-1,3	-1,3	-1,1	-1,2	-1,5	-1,8	-1,8	-0,82	**La Niña**
1989	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,61	**La Niña**
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,31	**Neutro**
1991	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	1,2	1,5	0,64	**El Niño**
1992	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	0,64	**El Niño**
1993	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0,1	0,33	**Neutro**
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	1	1,1	0,48	**Neutro**
1995	1	0,7	0,5	0,3	0,1	0	-0,2	-0,5	-0,8	-1	-1	-1	-0,16	**Neutro**
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,47	**Neutro**
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,3	0,8	1,2	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4	1,17	**El Niño**
1998	2,2	1,9	1,4	1	0,5	-0,1	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-0,07	**Neutro**
1999	-1,5	-1,3	-1,1	-1	-1	-1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7	-1,23	**La Niña**
2000	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,83	**La Niña**
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,30	Neutro
2002	-0,1	0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,3	1,1	0,63	**El Niño**
2003	0,9	0,6	0,4	0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,26	Neutro
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,46	Neutro
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8	0,03	Neutro
2006	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0	0,1	0,3	0,5	0,8	0,9	0,9	0,06	Neutro
2007	0,7	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-0,61	**La Niña**
2008	-1,6	-1,5	-1,3	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,78	**La Niña**
2009	-0,8	-0,8	-0,6	-0,3	0	0,3	0,5	0,6	0,7	1	1,4	1,6	0,30	Neutro
2010	1,5	1,2	0,8	0,4	-0,2	-0,7	-1	-1,3	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-0,47	Neutro
2011	-1,3	-1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1	-0,9	-0,78	**La Niña**
2012	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,08	Neutro
2013	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,24	Neutro
2014	-0,3	-0,3	-0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,21	Neutro
2015	0,7	0,6	0,7	0,8	1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,6	2,8	1,56	**El Niño**
2016	2,6	2,3	1,7	1	0,5	0	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	0,42	Neutro
2017	-0,2	0	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9	-0,12	Neutro
2018	-0,8	-0,7	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,8	1	0,9	0,09	Neutro
2019	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,58	**El Niño**
2020	0,6	0,6	0,5	0,3	0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,8	-1,1	-1,2	-1,1	-0,28	Neutro
2021	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-0,9	-0,9	-0,63	**La Niña**
2022	-0,8	-0,8	-0,9	-1	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,86	**La Niña**
2023	-0,5	-0,3	0	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,6	1,8	2	2,1	0,91	**El Niño**
2024	1,9	1,6	1,3	0,8	0,5	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	0,43	Neutro
2025	-0,4	-0,2	-0,1	0	0	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,26	Neutro

NOTA: DJF = Dezembro, Janeiro e Fevereiro; JFM = Janeiro, Fevereiro e Março; FMA = Fevereiro, Março e Abril; MAM = Março, Abril e Maio; AMJ = Abril, Maio e Junho; MJJ = Maio, Junho e Julho; JJA = Junho, Julho e Agosto; JAS = Julho, Agosto e Setembro; ASO = Agosto, Setembro e Outubro; SON = Setembro, Outubro e Novembro; OND = Outubro, Novembro e Dezembro; NDJ = Novembro, Dezembro e Janeiro.

Fonte: NOAA - Oceanic Niño Index (2026).

Análise exploratória e correlação ENOS-precipitação

A variabilidade temporal e espacial da precipitação foi caracterizada por análises exploratórias, avaliando-se a distribuição probabilística dos totais pluviométricos anuais sob diferentes condições climáticas para identificar deslocamentos nos padrões entre eventos El Niño, La Niña e condições Neutras. A relação entre o índice ONI e os totais anuais de precipitação foi quantificada por meio da correlação de Pearson, visando avaliar a intensidade e a direção da associação entre as variáveis climáticas. Adicionalmente, foi construída uma matriz de correlação sazonal com base nos trimestres móveis do índice ONI, permitindo identificar os períodos do ano com maior influência das anomalias oceânicas do Pacífico Equatorial sobre a precipitação no NEB.

A escolha da correlação de Pearson para quantificar a associação entre o índice ONI e os totais anuais fundamenta-se em protocolos estatísticos aplicados em estudos recentes no Semiárido. Segundo Monteiro *et al*. (2025), essa abordagem permite verificar com clareza a influência de condicionantes oceânicos, como o ENOS e o Dipolo do Atlântico, sobre as variáveis de resposta.

Análise estatística das diferenças entre fases do ENOS e tendências de longo prazo

As diferenças entre os totais anuais de precipitação associados às fases El Niño, La Niña e Neutra foram avaliadas, para cada estado separadamente, por meio do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952), adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$), sendo possível detectar diferenças significativas devido à extensão da série. Já Para os estados que apresentaram diferenciação estatística no teste de Kruskal-Wallis, foi aplicado o teste pós-hoc de Dunn (Dunn, 1964) para comparações múltiplas entre as fases do ENOS.

A existência de tendências monotônicas nos totais anuais de precipitação de cada estado foi avaliada pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK), conforme Mann (1945) e Kendall (1975), com estimação da magnitude da tendência pela Sen's slope (Sen, 1968), aplicados à série completa de 1960 a 2025 para cada estado.

3 - RESULTADOS

Variabilidade temporal da precipitação no Nordeste brasileiro

A análise das séries temporais revelou elevada variabilidade interanual da precipitação nos estados do Nordeste brasileiro ao longo do período de 1960 a 2025, conforme observado na Figura 1. Os maiores totais pluviométricos médios foram observados no Maranhão (média de 1.498 mm/ano) e Alagoas (1.217 mm/ano), enquanto Pernambuco (750 mm/ano) e Rio Grande do Norte (763 mm/ano)

apresentaram os menores volumes anuais médios. As linhas de tendência linear evidenciam tendência de aumento em Pernambuco e Sergipe, e tendências negativas não significativas nos demais estados.

A análise das anomalias anuais mostra uma alternância entre anos secos e chuvosos, destacando eventos extremos associados à variabilidade climática durante cada ano, na qual períodos consecutivos classificados como El Niño estiveram associados a sequências de anomalias negativas, indicando persistência de condições secas em parte da região Nordeste. Vale ressaltar que a magnitude das anomalias variou entre os estados, evidenciando que a influência do ENOS ocorre de forma espacialmente heterogênea no Nordeste brasileiro.

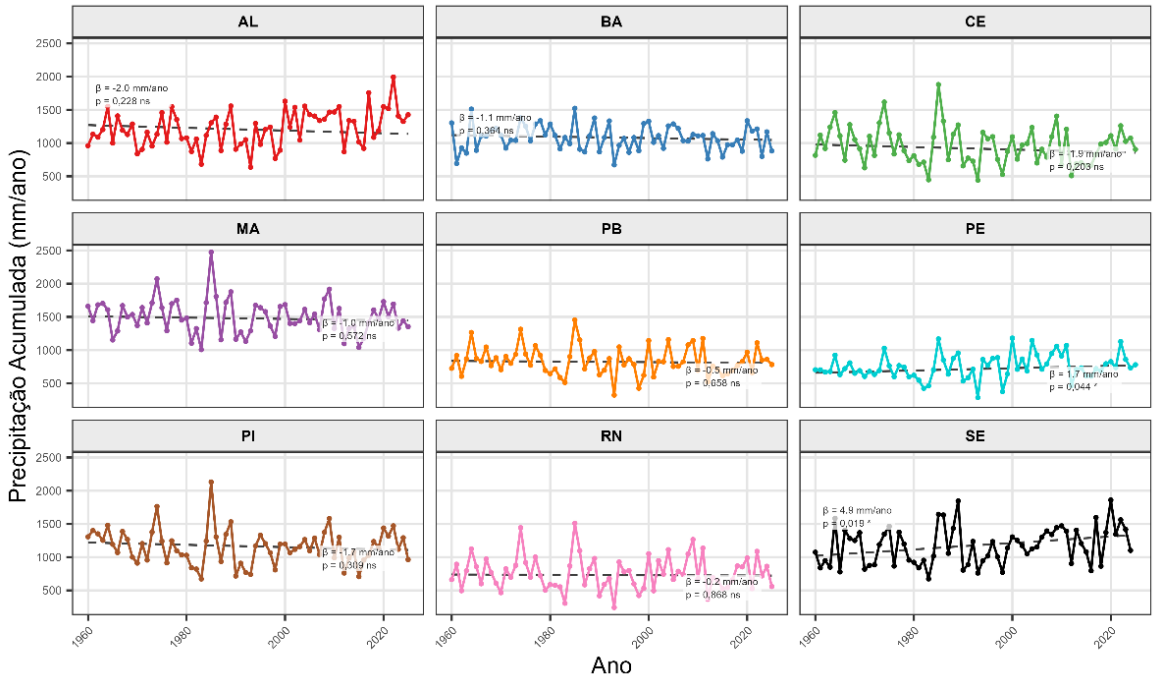


Figura 1 – Série Temporal de Precipitação por Estado (1960-2025).
Fonte: Autores (2026).

Correlação entre índice ONI e precipitação

A Figura 2 apresenta a matriz de correlação de Pearson entre o índice ONI (por trimestre móvel) e os totais anuais de precipitação de cada estado. Todos os valores de correlação obtidos foram negativos, confirmando que o aquecimento das águas do Pacífico Equatorial está consistentemente associado à redução da precipitação no NEB.

O Maranhão e o Piauí apresentaram os valores mais intensos de correlação negativa, com coeficientes entre -0,61 e -0,63 no trimestre AMJ, evidenciando forte resposta sazonal às oscilações do Pacífico tropical. Para a maioria dos estados do NEB setentrional (CE, PB, RN), as correlações mais intensas concentram-se entre os trimestres FMA e AMJ, coincidindo com a principal estação chuvosa.

A sensibilidade acentuada da precipitação no Maranhão ao ENOS (correlação de -0,63) corrobora os achados de Marques e Oyama (2015), que identificaram que em anos neutros ou de El Niño, a circulação local sobre o Centro de Lançamento de Alcântara é fortemente alterada por anomalias de vento e gradientes térmicos no Atlântico e Pacífico.

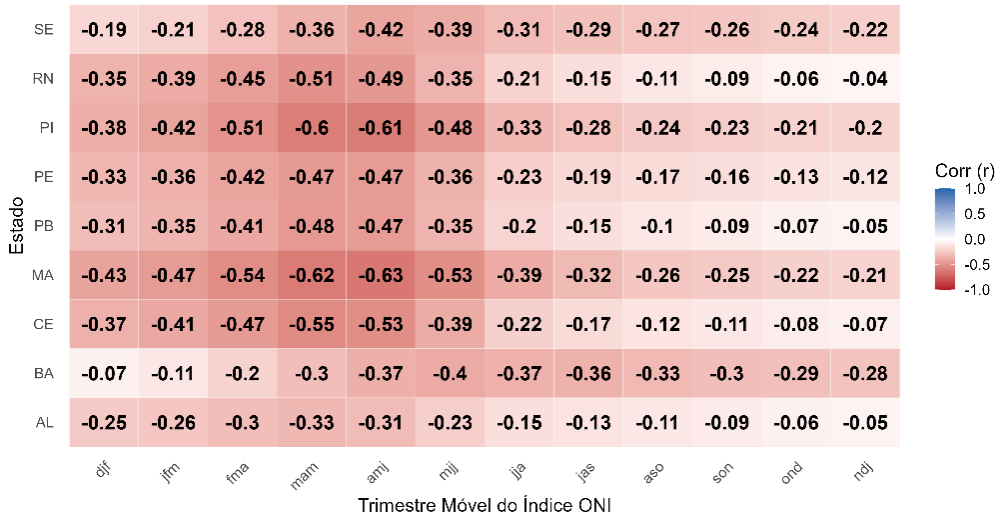


Figura 2 – Influência sazonal do ENOS na Chuva Anual.
Fonte: Autores (2026).

Significância estatística das diferenças entre fases do ENOS

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis (Tabela 2) indicaram que oito dos nove estados apresentaram diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% entre as fases do ENOS. O único estado sem diferenciação significativa foi Alagoas (p = 0,189). A ausência de diferenciação estatística significativa em Alagoas corrobora a tese de que a sensibilidade ao sinal remoto do ENOS é atenuada em estados da costa leste, onde a variabilidade pluviométrica sofre forte interferência de sistemas atmosféricos regionais. De acordo com Cavalcanti (2015), embora o Pacífico exerça uma influência robusta via alteração da Célula de Walker e movimentos de subsidência sobre o Nordeste, a precipitação final depende também da posição e atividade de sistemas sinóticos, como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e distúrbios de leste.

Destaca-se que a ausência de diferenciação estatística significativa em Alagoas sugere que o sinal do ENOS é diluído por outros sistemas meteorológicos. Segundo Moura *et al*. (2020), o setor leste do Nordeste sofre forte influência de preditores locais e do Atlântico Tropical Sul, como os Distúrbios Ondulatórios de Leste, que podem mitigar ou sobrepor-se aos efeitos remotos do Pacífico.

Tabela 2 – Resumo Kruskal-Wallis (Diferença Global por Estado).

Estado	p-valor	Interpretação	Estado	p-valor	Interpretação	Estado	p-valor	Interpretação
AL	0,189	Não Significante	MA	< 0,001	Significante	PI	< 0,001	Significante
BA	0,023	Significante	PB	0,007	Significante	RN	0,011	Significante
CE	0,003	Significante	PE	0,005	Significante	SE	0,009	Significante

Fonte: Autores (2026).

O teste pós-hoc de Dunn com a correção (Tabela 3), aplicado para comparação par a par, demonstrou que Maranhão e Piauí apresentaram os contrastes mais robustos entre eventos El Niño e La Niña (Z aproximado entre -3,82 e -3,80, respectivamente; p-ajustado < 0,001). Todos os estados, com exceção de Alagoas, apresentaram contrastes estatisticamente significativos (p-ajustado < 0,05). A estatística Z negativa em todos os casos indica que durante eventos El Niño os totais pluviométricos foram consistentemente inferiores aos observados durante episódios de La Niña. Adicionalmente, a análise revelou uma assimetria de resposta ao ENOS na qual o par La Niña vs Neutro mostrou-se significativo na maioria dos estados, enquanto o par El Niño vs Neutro não atingiu significância, indicando que a anomalia positiva da La Niña é mais expressiva do que a anomalia negativa do El Niño.

Tabela 3 – Teste De Dunn (Contraste El Niño vs La Niña): Estados com as maiores tendências de diferença.

Estado	Z	p-ajustado	Interpretação	Estado	Z	p-ajustado	Interpretação
MA	-3,82	0,0004	Significante	BA	-2,67	0,0229	Significante
PI	-3,80	0,0004	Significante	RN	-2,30	0,0319	Significante
PE	-2,79	0,0080	Significante	PB	-2,16	0,0466	Significante
CE	-2,65	0,0121	Significante	AL	-1,54	0,1869	Não significante
SE	-2,47	0,0203	Significante				

Fonte: Autores (2026).

Tendências de longo prazo da precipitação (Mann-Kendall)

A Tabela 4 apresenta a inclinação de Sen e o p-valor do teste de Mann-Kendall para cada estado. Os resultados revelam que apenas Pernambuco (+1,7 mm/ano; p = 0,044) e Sergipe (+4,9 mm/ano; p = 0,019) apresentaram tendências de aumento estatisticamente significativas. Os demais estados exibiram tendências negativas não significativas, com inclinações entre -0,25 mm/ano (RN) e -2,05 mm/ano (AL).

Tabela 4 – Análise de Tendência Mann-Kendall e Inclinação de Sen (1960-2025).

Estado	Sen's slope (mm/ano)	p-valor (MK)	Tendência	Estado	Sen's slope (mm/ano)	p-valor (MK)	Tendência
AL	-2,05	0,228	S.T.S.	PE	+1,74	0,044	T.A.S.
BA	-1,13	0,364	S.T.S.	PI	-1,72	0,309	S.T.S.
CE	-1,90	0,203	S.T.S.	RN	-0,25	0,868	S.T.S.
MA	-0,96	0,572	S.T.S.	SE	+4,87	0,019	T.A.S.
PB	-0,46	0,658	S.T.S.				

NOTA: S.T.S. = Sem tendência significativa; T. A. S. = Tendência de aumento significativa.

Fonte: Autores (2026).

A tendência de aumento da precipitação em Pernambuco e Sergipe pode parecer contraditória, já que o El Niño costuma favorecer condições mais secas nesses estados. No entanto, isso ocorre porque o ENOS atua na variabilidade anual da chuva, enquanto as tendências observadas ao longo de décadas refletem mudanças climáticas mais lentas. Ressalta-se, ainda, que tal tendência de aumento evidencia a atuação de ciclos de longo prazo operando em paralelo à variabilidade interanual.

4 - CONCLUSÕES

A análise da variabilidade temporal da precipitação no Nordeste brasileiro entre 1960 e 2025 evidenciou elevada heterogeneidade espaço-temporal dos totais pluviométricos anuais entre os estados, refletindo a complexidade dos sistemas atmosféricos que atuam na região. Os resultados indicam que o ENOS exerce influência consistente, porém espacialmente heterogênea, sobre a precipitação regional.

A análise exploratória confirmou que eventos La Niña estiveram associados aos maiores totais anuais de precipitação em praticamente todos os estados, enquanto eventos El Niño corresponderam a volumes abaixo da média. Com a extensão da série histórica para 66 anos, o teste de Kruskal-Wallis identificou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) em oito dos nove estados, resultado substancialmente mais robusto do que o obtido com a série de 2000-2025. Alagoas permanece como exceção, cuja maior influência de sistemas atlânticos dilui o sinal ENOS.

A análise de correlação sazonal revelou que o sinal do ENOS sobre a precipitação no NEB tende a ser mais intenso entre os trimestres FMA e AMJ, coincidindo com a principal estação chuvosa para grande parte da região. Maranhão e Piauí apresentaram os coeficientes de correlação negativa mais intensos, com valores entre -0,61 e -0,63 no trimestre AMJ. Foi identificada uma assimetria de resposta, onde a La Niña impõe anomalias positivas mais expressivas do que as anomalias negativas impostas pelo El Niño, resultado com implicações importantes para a gestão dos recursos hídricos regionais. O teste pós-hoc de Dunn confirmou contrastes significativos El Niño–La Niña em oito estados, com Maranhão e Piauí apresentando as diferenças mais robustas. A análise de Mann-Kendall identificou tendências de aumento significativas em Pernambuco (+1,7 mm/ano) e Sergipe (+4,9 mm/ano).

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão de bolsas de doutorado à segunda autora (n. 88887.134583/2025-00) e à quarta autora (n. 88887.284584/2026-00). Agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão de bolsa à terceira autora (Processo n. 0198-3.01/23 – FACEPE). Agradecem também ao Serviço Geológico do Brasil (SGB) pelo apoio institucional ao desenvolvimento desta pesquisa. Os autores agradecem ainda ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Produtividade em Pesquisa, Processo nº 301329/2025-7.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas. Brasília: ANA, 2026. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/. Acesso em: 19 maio 2026.

CAVALCANTI, I. F. A. (2015). “The influence of extratropical Atlantic Ocean region on wet and dry years in North-Northeastern Brazil”. Frontiers in Environmental Science, 3, (34), pp. 1-13. https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00034.

COUTINHO, M. D. L.; GOMES, A. C. S.; MORAIS, M. D. C.; SAKAMOTO, M. S. (2018). “Análise Comparativa do Regime Pluviométrico entre Anos Secos e Chuvosos na Bacia do Rio Piranhas Açu”. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 41, (3), pp. 758-765.,,. http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_758_765.

DUNN, O. J. (1964). “Multiple Comparisons Using Rank Sums”. Technometrics, 6, (3), pp. 241-252. https://doi.org/10.1080/00401706.1964.10490181.
GONZALEZ, R. A.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. (2013). “A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul”. Acta Amazonica, 43, (4), pp. 469-480.,,. https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400009.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. (1952). “Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis”. Journal of the American Statistical Association, 47, (260), pp. 583–621. https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441.

KENDALL, M.G. (1975) Rank Correlation Methods. 4th Edition, Charles Griffin, London.
MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the econometric society, p. 245-259, 1945.

MARQUES, R. F. C.; OYAMA, M. D. (2015). “Interannual Variability of Precipitation for the Centro de Lançamento de Alcântara in ENSO-Neutral Years”. J. Aerosp. Technol. Manag., 7, (3), pp. 365-373.,,. http://dx.doi.org/10.5028/jatm.v7i3.477.

MONTEIRO, F.; FERREIRA, A. M.; LUCENA, R. L. (2025). “Analyzing the inter-annual variability of rainfall in the Brazilian semi-arid region”. Acta Scientiarum. Technology, 47, e70066.,,. http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v47i1.70066.

MOURA, G. B. A.; BRITO, J. I. B.; SOUSA, F. A. S.; CAVALCANTI, E. P.; SILVA, J. L. B.; NASCIMENTO, C. R.; LOPES, P. M. O. (2020). “Identificação de preditores para as chuvas do setor leste do Nordeste do Brasil utilizando análise de correlação canônica”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, (04), pp. 1463-1482.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Cold & Warm Episodes by Season – Oceanic Niño Index (ONI). Climate Prediction Center, 2026. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 19 maio 2026.

SEN, P.K. (1968) Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall’s Tau. Journal of the American Statistical Association, 63, 1379-1389.