

ANÁLISE COMPARATIVA DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO ENTRE A ZONA DA MATA E SERTÃO DE ALAGOAS

Josiel dos Santos Silva ¹

Marcus Vinicius da Silva Leonardo Firmino ²

Lucas de Moraes Teixeira ³

Jório Bezerra Cabral Júnior ⁴

INTRODUÇÃO

A demanda contínua por água, combinada com a limitação na capacidade de uso dos recursos hídricos, conflitos entre usos e os danos causados pelo excesso e pela escassez de água, requer um planejamento regional eficiente para o uso da água (Albuquerque *et al.*, 2019). O conhecimento sobre a distribuição espacial e temporal da oferta hídrica permite estabelecer diretrizes para implementar políticas de gestão desse recurso (Momm *et al.*, 2021; Rodrigues *et al.*, 2021).

A região Nordeste do Brasil (NEB) que possui elevada vulnerabilidade à seca, associada principalmente a altas temperaturas e déficit hídrico (Marengo *et al.*, 2017), com as mudanças climáticas, a desigualdade na relação oferta-demanda são intensificadas nessa região, gerando problemas permanentes e prejuízos em diversos setores da sociedade (Brêda *et al.*, 2020). O balanço hídrico é uma ferramenta essencial para monitorar o armazenamento de água no solo (Araújo *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2022). A partir dele, é possível determinar períodos de deficiência e excedente hídrico, além de identificar a reposição e retirada de água do solo, o que permite a classificação climática. Isso possibilita a identificação de períodos críticos ao longo do tempo (Santos; Martins; Santos, 2018).

Há vários métodos de se contabilizar o balanço hídrico, um dos mais conhecidos foi proposto por Thornthwaite e Mather (1955), de acordo com Pereira (2005), esse método possibilita determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. O estado de Alagoas possui uma elevada

¹ Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, josiel.silva@igdema.ufal.br;

² Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, mvsfirmino@hotmail.com;

³ Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal Alagoas - UFAL, lucasmorais321@gmail.com;

⁴ Professor orientador: Doutor, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFAL, jorio.cabral@gmail.com.

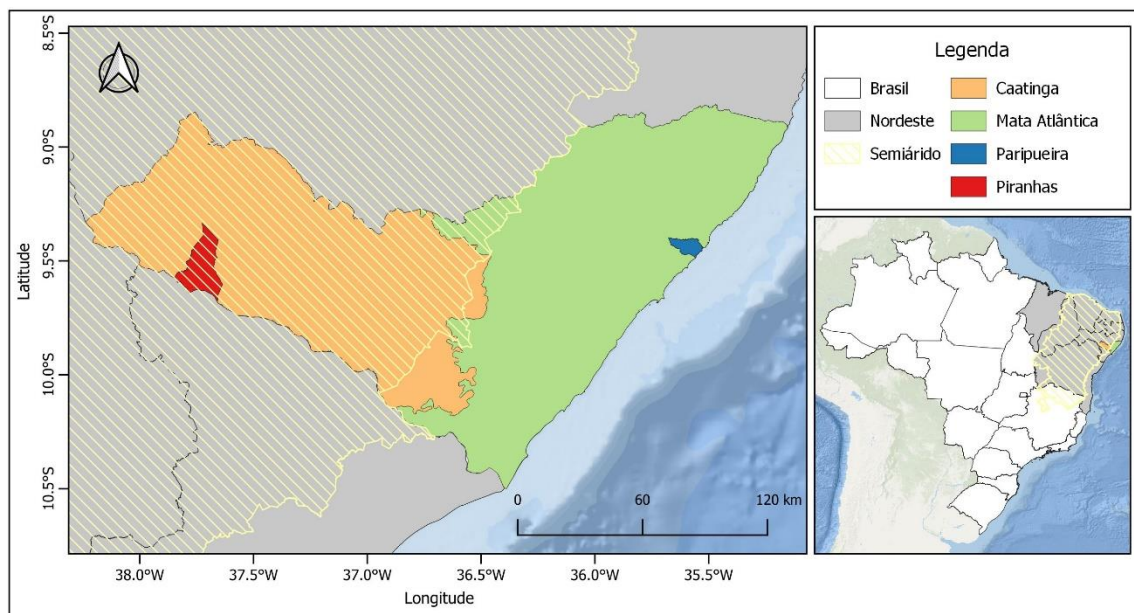
variabilidade da precipitação e um balanço hídrico desigual. Enquanto a região semiárida é afetada pela irregularidade da precipitação e por elevados valores de Evapotranspiração de Referência (ET_0) (Cabral Júnior; Bezerra, 2018), o litoral apresenta maior concentração de chuvas (Lyra *et al.*, 2014). O objetivo neste trabalho é comparar o balanço hídrico climatológico para os municípios com o maior e menor acumulado médio anual de precipitação do estado de Alagoas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo a ser analisada são os municípios de Paripueira e Piranhas, localizados no estado de Alagoas, NEB (Figura 1). Mesmo sendo o segundo menor estado do país apresenta grande variabilidade climática e regional. 43,1% do território está inserido na região semiárida, na qual o município de Piranhas faz parte e está inserido no bioma Caatinga, por sua vez Paripueira encontra-se no bioma Mata Atlântica e possui clima Tropical chuvoso (Alvares *et al.*, 2013; IBGE, 2019).

Figura 1 - Localização dos municípios de Paripueira e Piranhas, estado de Alagoas.



Dados

Para analisar a Climatologia foram utilizados dados mensais de precipitação, ETP e temperatura média do ar, disponibilizados por Xavier *et al.* (2022), que no intuito

de ampliar e melhorar a distribuição temporal e espacial de dados meteorológicos, desenvolveram e validaram um banco de dados meteorológicos com uma resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, para uma série temporal de 1961 a 2019.

Balanço Hídrico Climatológico (BHC)

Os municípios de Paripueira e Piranhas foram selecionados para elaboração do BHC pois apresentaram o maior e menor acumulado médio anual de precipitação do estado de Alagoas, respectivamente. Para o BHC foi adotado o método de Thornthwaite e Mather (1955), cujos parâmetros de entrada são: capacidade de água disponível no solo (CAD), o qual leva em consideração o valor de 100 mm. Os dados de entrada para o cálculo do BHC são: precipitação e ETP, cuja origem de dados já foi mencionada, podendo-se estimar os valores correspondentes ao Armazenamento de água no solo (ARM), Excedente Hídrico (EXC), evapotranspiração real (ETR) e Deficiência Hídrica (DEF) mensais (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite; Mather, 1955). Os cálculos do BHC foram realizados através de planilhas Excel elaboradas por Rolim et al. (1998).

Com as variáveis do BHC obtidas, determinou-se os seguintes índices segundo o método de Thornthwaite (1948): hídrico (I_h), de aridez (I_a) e de umidade (I_u) de acordo com as equações:

$$I_h = 100 \frac{\sum EXC}{\sum ETP} \quad I_a = 100 \frac{\sum DEF}{\sum ETP} \quad I_u = I_h - (0,61 * I_a)$$

Utilizando-se os valores dos índices mencionados acima, a classificação climática foi obtida de acordo com a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955).

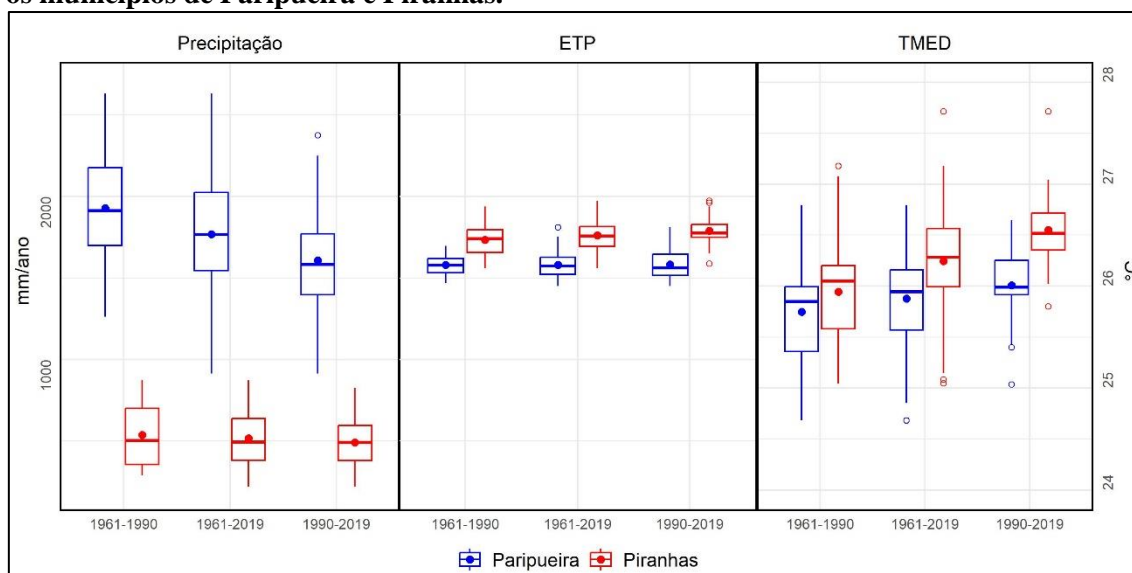
Teste de Wilcoxon

O teste de Wilcoxon (1945) é um teste estatístico não paramétrico utilizado para comparar duas amostras relacionadas ou pareadas. Foi utilizado para comparar duas normais climatológicas (1961-1990 e 1990-2019), avaliando se há uma diferença significativa entre as medianas das séries temporais dos dois municípios. A significância estatística adotada foi de 5%, utilizando-se o software estatístico livre R versão 4.3.2.

A Figura 2 apresenta os boxplots para as 3 variáveis climatológicas, no qual é possível observar a dissimilaridade entre os municípios nos períodos analisados. O município de Paripueira possui consistentemente uma quantidade significativamente maior de precipitação em comparação com Piranhas, com uma diferença percentual de aproximadamente 69,4%. Em contraste, a ETP é ligeiramente mais alta em Piranhas, com uma diferença percentual média de cerca de 10,3% no período de 1961-2019. As temperaturas médias do ar são mais altas em Piranhas, com uma pequena diferença percentual de cerca de 1,1% no mesmo período.

Observa-se que tanto Paripueira quanto Piranhas mostram aumentos nas médias de ETP e temperatura média do ar quando se compara os períodos de 1961-1990 e 1990-2019, com destaque para Piranhas, com um aumento médio de 0,7 °C na temperatura média do ar. No entanto, a precipitação apresenta uma redução média acentuada, em Paripueira, a precipitação média diminuiu de 1927 para 1609 mm, já em Piranhas, a média de precipitação diminuiu de 537 para 492 mm. O teste de Wilcoxon (1945) identificou que houve uma diferença significativa entre as normais climatológicas na temperatura média do ar para ambos os municípios, na precipitação apenas para Paripueira, enquanto para ETP o valor-p foi superior a 0,05 nos dois municípios.

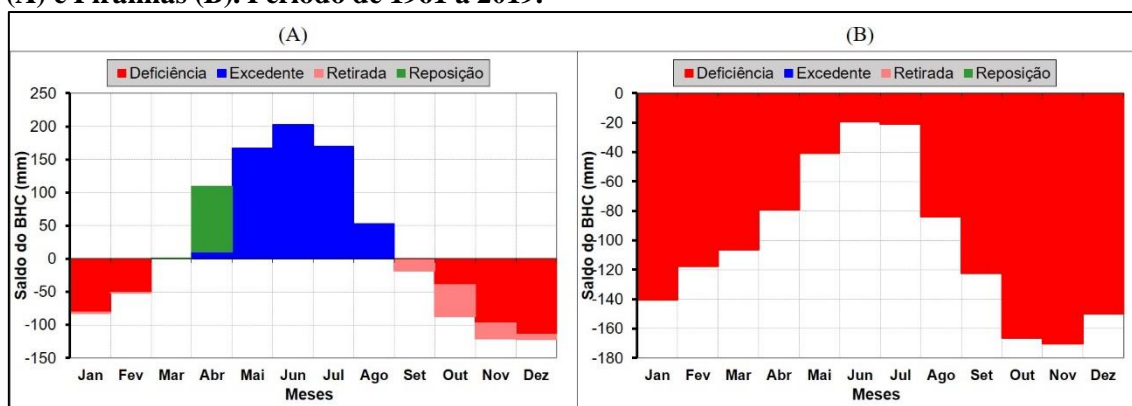
Figura 2 – Boxplots da precipitação, ETP e temperatura média do ar (TMED) anual para os municípios de Paripueira e Piranhas.



Na análise do balanço hídrico para o município de Paripueira (Figura 3A), nota-se ocorrência de excedente hídrico entre os meses de abril a agosto, com maiores excedentes em junho (202,2 mm) e um total anual de 602,4 mm, a deficiência está presente nos meses de outubro a fevereiro com a maior taxa de deficiência no mês de dezembro, ocorre reposição de água nos meses de março e abril. A retirada de água no solo ocorre no mesmo período de deficiência.

O balanço hídrico para o município de Piranhas (Figura 3B) determinou o predomínio do déficit hídrico, verificado em todos os meses, com o total anual de 1218,3 mm. O município não possui excedente hídrico ou reposição de água no solo, uma vez que as precipitações são inferiores a evapotranspiração durante todo o ano.

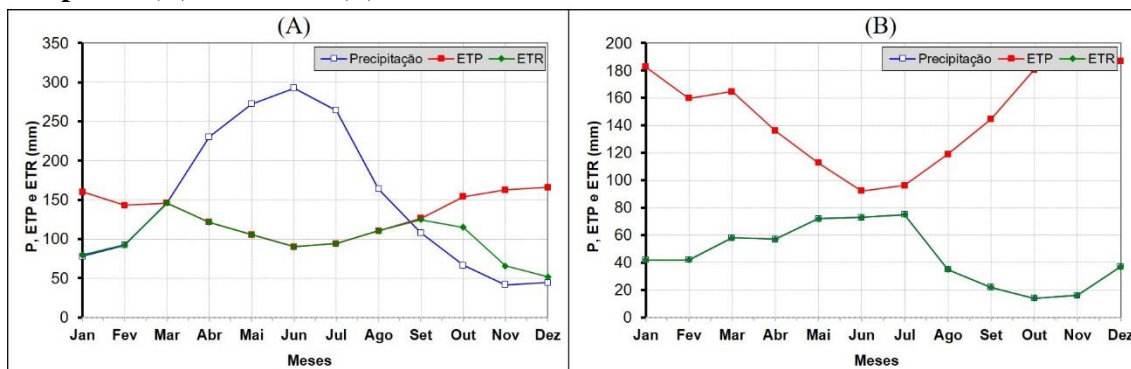
Figura 3 - Balanço hídrico climatológico médio mensal para os municípios de Paripueira (A) e Piranhas (B). Período de 1961 a 2019.



Na Figura 4A percebe-se que em Paripueira a ETR está condicionada a disponibilidade de água no solo, de maneira que quando a precipitação supera a ETP a ETR aumenta sua capacidade máxima, ou seja, ETR igual à ETP. Já em Piranhas (Figura 4B) a ETP corresponde ao valor precipitado, pois a ETP supera a precipitação em todos os meses.

Quanto aos índices hídricos, de umidade e de aridez, foram respectivamente, de 38.1%, 23.3% e 24.2% para Paripueira, e 0%, -42.2% e 69.2% para Piranhas. Portanto, os municípios possuem a respectiva classificação proposta por Thornthwaite e Mather (1955): úmido (B1) com moderada deficiência no verão (s) e semiárido (D) com pequeno ou nenhum excesso hídrico (d).

Figura 4 - Variabilidades temporais dos acumulados médios da precipitação, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) para os municípios de Paripueira (A) e Piranhas (B). Período de 1961 a 2019.



Os resultados obtidos corroboram com o trabalho de Silva *et al.* (2023) que identificaram que a temperatura média do ar no estado de Alagoas aumentou significativamente nas décadas mais recentes e destacaram que essa condição pode impactar no balanço hídrico do solo, principalmente na região semiárida. Ressalta-se que o município de Piranhas apresenta características propícias a aridização, Barbosa (2024) em estudo recente identificou pela primeira vez regiões áridas no NEB, tais condições apresentadas em Piranhas podem estar favorecendo o aumento dessas regiões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A temperatura do ar e ETP apresentou aumento, enquanto a precipitação diminuiu nos períodos analisados para os dois municípios.
2. O município de Paripueira possui excessos hídricos expressivos no inverno (JJA), superando 200 mm no mês de junho.
3. O município de Piranhas apresenta déficits durante todo o ano, com destaque no verão (DJF) em que os déficits hídricos superam 170 mm/mês.
4. Paripueira e Piranhas foram classificados, respectivamente, como regiões de clima úmido com moderada deficiência no verão (B1s) e semiárido com pequeno ou nenhum excesso hídrico (Dd).

Palavras-chave: Precipitação, Semiárido, Evapotranspiração, Temperatura do ar.

O primeiro autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão da bolsa de mestrado, ao Laboratório de Climatologia Teórica e Aplicada (LACTA) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). O quarto autor agradece pelo apoio e fomento à pesquisa cedidos pela FAPEAL (edital 003/2022) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Chamada CNPq/MCTI N° 10/2023).

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. M. *et al.* Balanço Hídrico como ferramenta de gerenciamento de recursos hídricos: Aplicação na área de influência direta do açude Castanhão-CE. **Revista da casa da Geografia de Sobral**, v. 21, n. 2, p. 454-466, 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

ARAÚJO, S. R. D.; DANTAS NETO, J.; SILVA, P. F.; ARAÚJO, B. A.; SABOYA, L. M. F.; MATOS, R. M. Balanço hídrico e classificação climática para as mesorregiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 11, n. 6, p. 1985-1997, jan. 2019.

BARBOSA, H. A. Understanding the rapid increase in drought stress and its connections with climate desertification since the early 1990s over the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 222, p. 105142, 2024.

BRÊDA, J. P. L. F. *et al.* Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. **Climatic Change**, v. 159, n. 4, p. 503-522, 2020.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. **REGNE**, v. 4, n. 1, 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000. 1. ed. Rio de Janeiro: IBGE. 2019. 164 p.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; ZERI, L. M. M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3546 - 3558, 2014.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017.

MOMM, S. *et al.* Permanência e transição no planejamento e a crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo. **EURE (Santiago)**, v. 47, n. 140, p. 199-219, 2021.

PEREIRA, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, p. 311-313, 2005.

RODRIGUES, I. S. *et al.* Trends of evaporation in Brazilian tropical reservoirs using remote sensing. **Journal of Hydrology**, v. 598, p. 126473, 2021

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SANTOS, R. A.; MARTINS, D. L.; SANTOS, R. L. Balanço hídrico e classificação climática de Köppen e Thornthwaite no município de Feira de Santana (BA). **Geo Uerj**, n. 33, p. e34159-e34159, 2018.

SILVA, A. D. G. *et al.* Balanço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 798-816, 2022.

SILVA, J. S.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; RODRIGUES, D. T.; SILVA, F. D. S. Climatology and significant trends in air temperature in Alagoas, Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 151, p. 1-20, 2023.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. 1. ed. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

WILCOXON, F. Individual Comparisons by Ranking Methods. **Biometrics Bulletin**, v. 1, n. 6, p. 80-83, 1945.

XAVIER, A. C. *et al.* New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022.