COMPORTAMENTO TEMPORAL DO BALANÇO HIDRICO NO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE

Gabriel Graciano de Mendonça [1] ; Iris Lima Cruz [2];Patricia Arruda de Moura[3] & Antonio Samuel Alves da Silva [4]

RESUMO– O balanço hídrico é uma ferramenta importante e amplamente utilizada para a avaliação da disponibilidade de água em uma região, permitindo identificar períodos de excedente e déficit hídrico. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a variabilidade temporal do balanço hídrico no município de Petrolina-PE, município localizado na região semiárida e frequentemente afetada por eventos de escassez hídrica. Foram utilizados dados referentes a precipitação e evapotranspiração potencial da base TerraClimate, obtidos a partir do pacote brclimr, abrangendo o período de 1958 a 2021. O balanço hídrico foi obtido pela diferença entre precipitação e evapotranspiração, sendo analisado nas escalas anual, sazonal e mensal. Para avaliação das tendências temporais foram utilizados os testes de Mann-Kendall Modificado e Sen's Slope. Os resultados evidenciaram a predominância de déficits hídricos ao longo de toda a série temporal, com maior intensidade durante o inverno e a primavera, bem como entre os meses de maio a outubro. Além disso, foram identificadas tendências negativas estatisticamente significativas em todas as escalas analisadas, indicando redução gradual da disponibilidade hídrica ao longo do tempo. Conclui-se que Petrolina apresenta grande vulnerabilidade à escassez hídrica, reforçando a importância do monitoramento contínuo e na gestão de recursos hídricos, visando diminuir os impactos associados aos déficits hídricos.

ABSTRACT– Water balance is an important and widely used tool for assessing water availability in a region, allowing the identification of periods of water surplus and deficit. In this context, the present study aimed to analyze the temporal variability of the water balance in the municipality of Petrolina-PE, a municipality located in the semi-arid region and frequently affected by water scarcity events. Data on precipitation and potential evapotranspiration from the TerraClimate database, obtained from the brclimr package, covering the period from 1958 to 2021, were used. The water balance was obtained by the difference between precipitation and evapotranspiration, and was analyzed on annual, seasonal, and monthly scales. The Modified Mann-Kendall and Sen's Slope tests were used to assess temporal trends. The results showed a predominance of water deficits throughout the entire time series, with greater intensity during winter and spring, as well as between the months of May and October. Furthermore, statistically significant negative trends were identified across all scales analyzed, indicating a gradual reduction in water availability over time. It is concluded that Petrolina exhibits significant vulnerability to water scarcity, reinforcing the importance of continuous monitoring and water resource management to mitigate the impacts associated with water deficits.

[1]) Programa de Pós Graduação em Biometria e Estatística Aplicada – PPGBEA - UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, Recife – PE, (83) 9 9628-6658, gabriel.gracianom@ufrpe.br
[2]) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, Recife – PE, iris.cruz@ufrpe.br
[3]) Programa de Pós Graduação em Biometria e Estatística Aplicada – PPGBEA - UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, Recife – PE, patricia.amoura@ufrpe.br
[4]) Programa de Pós Graduação em Biometria e Estatística Aplicada – PPGBEA - UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, Recife – PE, antonio.sasilva@ufrpe.br

Palavras-Chave – Déficit hídrico e Excedente hídrico.

INTRODUÇÃO

As variações nos padrões climáticos globais geram impactos nos sistemas hidrológicos e em diversos setores econômicos, com destaque para o setor agrícola, que constitui uma atividade diretamente associada a fatores atmosféricos e climáticos. Diante disso, as alterações no ciclo hidrológico modificam os níveis de precipitação e evapotranspiração, definida como a perda de água para a atmosfera por meio da evaporação do solo e da transpiração vegetal, tornando-se variáveis importantes para o gerenciamento e produção agrícola (Almeida et al. (2024))

No contexto do semiárido brasileiro, o Nordeste destaca-se a produção e exportação de frutas, atividade viabilizada pelo uso da agricultura irrigada, cujo manejo planejado evita a degradação e o uso inadequado dos recursos hídricos. O município de Petrolina- PE, que faz parte do semiárido brasileiro, mais especificadamente no Sertão pernambucano, teve o seu desenvolvimento impulsionado por políticas públicas de implantação de perímetros irrigados atenuaram a restrição de água na região, permitindo a produção de culturas de alto valor econômico e com qualidade comercial reconhecida. Esse avanço da agricultura irrigada, em contraste com as áreas dependentes de chuvas, gerou emprego e renda, funcionando como um importante vetor de desenvolvimento local e ajudando a colocar o Brasil em destaque no ranking mundial de produtores de frutas (Lima et al. (2021)).

A expansão da fruticultura irrigada nas últimas décadas, concentrada nas margens do Rio São Francisco, resultou no aumento da demanda hídrica local. O município de Petrolina apresenta características climáticas marcadas por alta insolação solar, elevadas temperaturas e baixo índice pluviométrico, além de um aumento contínuo na ocupação de suas terras com plantios comerciais. Diante dessas condições de escassez hídrica e da coexistência entre a Caatinga e as áreas irrigadas, torna-se necessário realizar estudos do balanço hídrico em larga escala para subsidiar o entendimento das variáveis do clima e auxiliar na formulação de políticas públicas hídricas regionais (Teixeira et al. (2016))

A investigação científica baseada em séries temporais de longo prazo atua como suporte para identificar as variações na distribuição espacial e temporal desses recursos, permitindo diagnosticar a ocorrência de deficiências hídricas prolongadas que causam a redução da produtividade das culturas. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é analisar o balanço hídrico no município de Petrolina-PE, considerando as escalas mensal, sazonal e anual. O estudo visa mensurar a diferença entre precipitação e a evapotranspiração para caracterizar o comportamento do déficit e do excedente hídrico na região, bem como verificar a existência de tendências estatísticas significativas dessas variáveis ao longo do período estudado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e conjunto de dados

Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos a partir da base TerraClimate, por meio do pacote brclimr (Saldanha et al. 2024), disponível no ambiente computacional R (R Core Team (2024)), o qual disponibiliza a serie temporal das médias mensais de diversas variáveis climáticas para os municípios brasileiros no período de 1958 a 2021. Para a obtenção do balanço hídrico foram utilizadas as informações referentes a precipitação e evapotranspiração potencial. O estudo foi realizado no município de Petrolina-PE, localizado na região do Sertão de Pernambuco, caracterizada pelo clima semiárido e elevadas temperaturas ao longo do ano. Todas as análises estatísticas e construções gráficas foram feitas por meio do software R (R Core Team (2024)).

Métodos

O balanço hídrico climático simples é obtido a partir da diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (PET) (Thornthwaite (1948)). A partir da série temporal do balanço hídrico, foi realizado a analisada descritiva dos dados considerando o período completo de estudo, bem como segmentado por estação do ano e por mês. Essa abordagem permite a avaliação da variabilidade da disponibilidade hídrica em diferentes escalas temporais, possibilitando a identificação de padrões e de períodos de maior vulnerabilidade.

A identificação de tendências temporais foi realizada por meio do teste de Mann-Kendall Modificado (MMK) (Mann, 1945; Kendall e Gibbons, 1962). Diferente da versão clássica o teste de MKM considera os efeitos da autocorrelação da série temporal, aplicando um ajuste na variância da estatística de teste a partir do cálculo do número efetivo de observações independentes, reduzindo a influência da dependência temporal dos dados. A hipótese nula do teste indica a ausência de tendência monotônica na série temporal, neste estudo foi utilizado o nível de significância de 5%, de modo que tendências com p-valor inferior a 0,05 foram consideradas estatisticamente significativas. Complementando o teste MMK, foi utilizado o Sen`s Slope (Sen (1968)) com o objetivo de quantificar a magnitude das tendências. Dessa forma, a utilização conjunta desses métodos possibilita uma avaliação mais completa da tendência temporal das variáveis analisadas.

RESULTADOS

A série temporal e as tendências dos níveis de precipitação e evapotranspiração são apresentadas na Figura 1. Observou-se uma redução nos níveis de precipitação a partir da década de 1990, enquanto os níveis de evapotranspiração, apesar de manter comportamento sazonal, apresentem um leve aumento ao longo do tempo. Com base na análise descritiva, a precipitação apresentou valores variando de 0 a 304 mm, com média de 41,67 $mm.mes^{-1}$, evidenciando uma alta variabilidade pluviométrica na região, o coeficiente de assimetria foi igual a 2,14, indicando a predominância de valores abaixo da média, já a curtose apresentou valor de 5,51 indicando a concentração dos valores próximos a média. A evapotranspiração, por sua vez, apresentou valores variando de 78,9 a 208,9 mm com média de 129,79 $mm.mes^{-1}$, sua assimetria foi positiva, com valor de 0,53, indicando distribuição aproximadamente simétrica, já a curtose apresentou valor de -0,16, sugerindo uma distribuição próxima da normal. Ao analisar as tendências identificou-se a presença de tendência estatisticamente significativas apenas para evapotranspiração, com os valores de Sen's Slope iguais a 0,0258, indicando um aumento gradual dos níveis de evapotranspiração ao longo do período analisado. Para a precipitação o Sen's Slope foi de -0,0021, contudo não a evidencias para afirmar a existências dessa tendência ao longo do tempo.

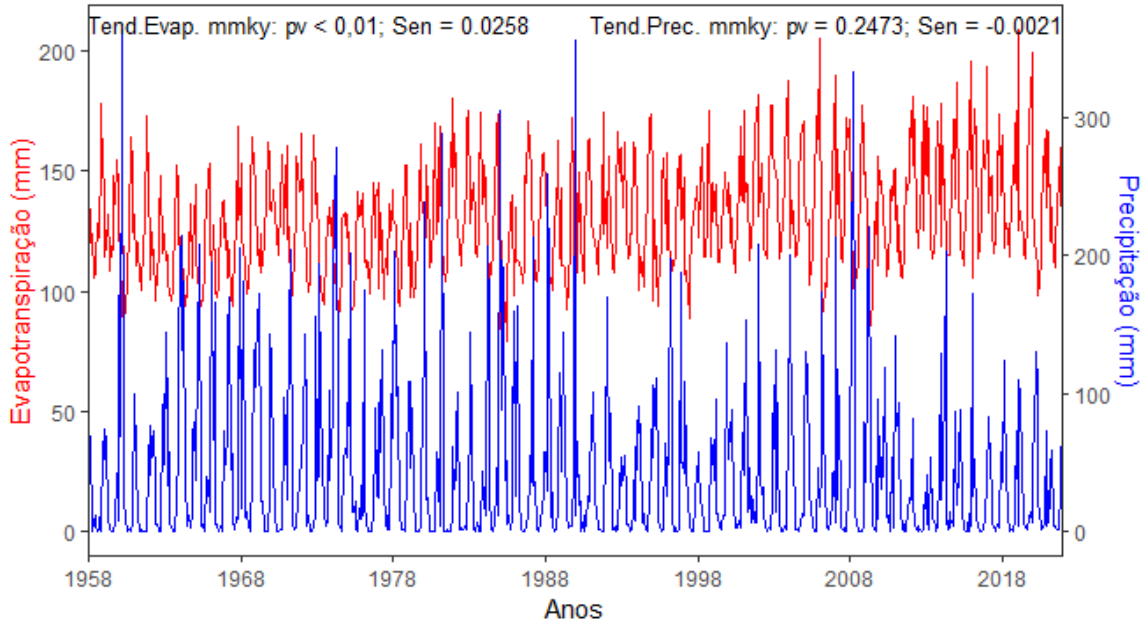


Figura 1- Série temporal e tendência das variáveis Precipitação e Evapotranspiração média para o município de Petrolina do período de 1958 a 2021

Calculado o balanço hídrico, sua série temporal ao longo do período de estudo é apresentada na Figura 2. De modo geral, observa-se o predomínio de condições de déficit hídrico durante praticamente toda a série temporal. Em relação à análise de tendência, verificou-se a presença de

tendência estatisticamente significativa, com Sen's Slope igual a -0,0416, evidenciando uma redução gradual do balanço hídrico ao longo do tempo.

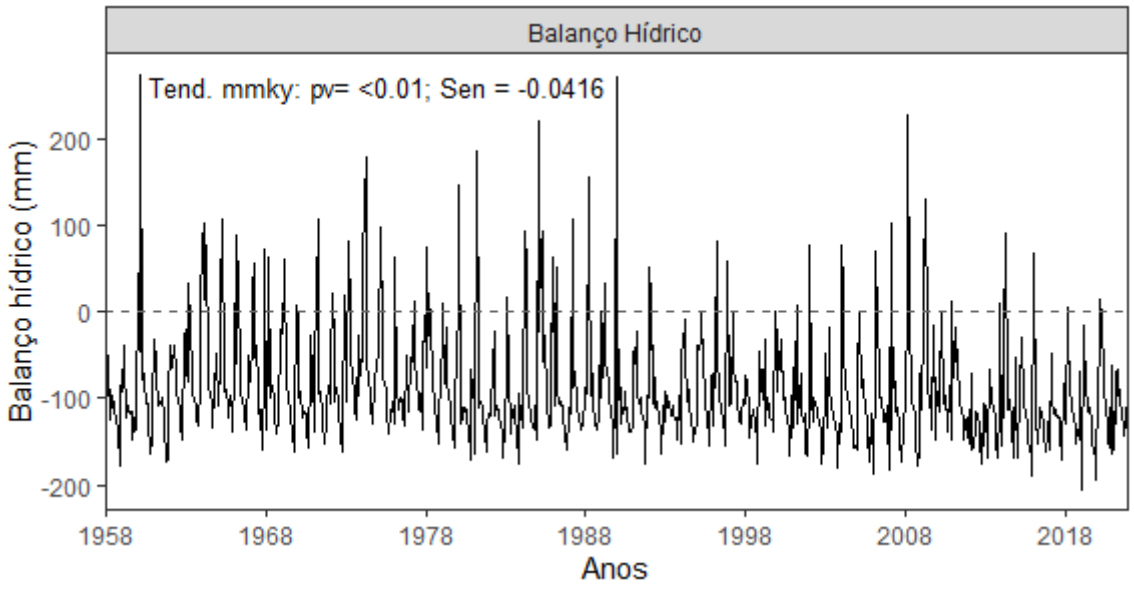


Figura 2 – Série temporal e tendência do balanço hídrico no município de Petrolina

A série temporal do balanço hídrico segmentada por estação do ano é apresentada na Figura 3. Identificou-se que o verão e o outono foram as estações que concentraram os maiores valores do balanço hídrico, apresentando episódios de excedente hídrico em diferentes períodos, principalmente entre as décadas de 1960 e 1990. Em contrapartida, o inverno apresentou déficits hídricos durante todo o período analisado, evidenciando condições persistentes de baixa disponibilidade de água. Situação semelhante foi observada na primavera, marcada pelo predomínio de valores negativos, embora tenham ocorrido eventos pontuais de excedente, durante alguns meses da década de 1990.

Em relação à análise de tendência, foram identificadas tendências estatisticamente significativas em todas as estações do ano, indicando uma redução gradual do balanço hídrico ao longo do tempo. A maior magnitude de tendência foi observada no verão, com valor de Sen's Slope igual a -0,32, seguida pelo outono (-0,19), primavera (-0,11) e inverno (-0,08). Esses resultados sugerem que, embora o verão e o outono sejam as estações que historicamente apresentam maior disponibilidade hídrica, também são aquelas que vêm registrando as reduções mais acentuadas ao longo do período estudado.

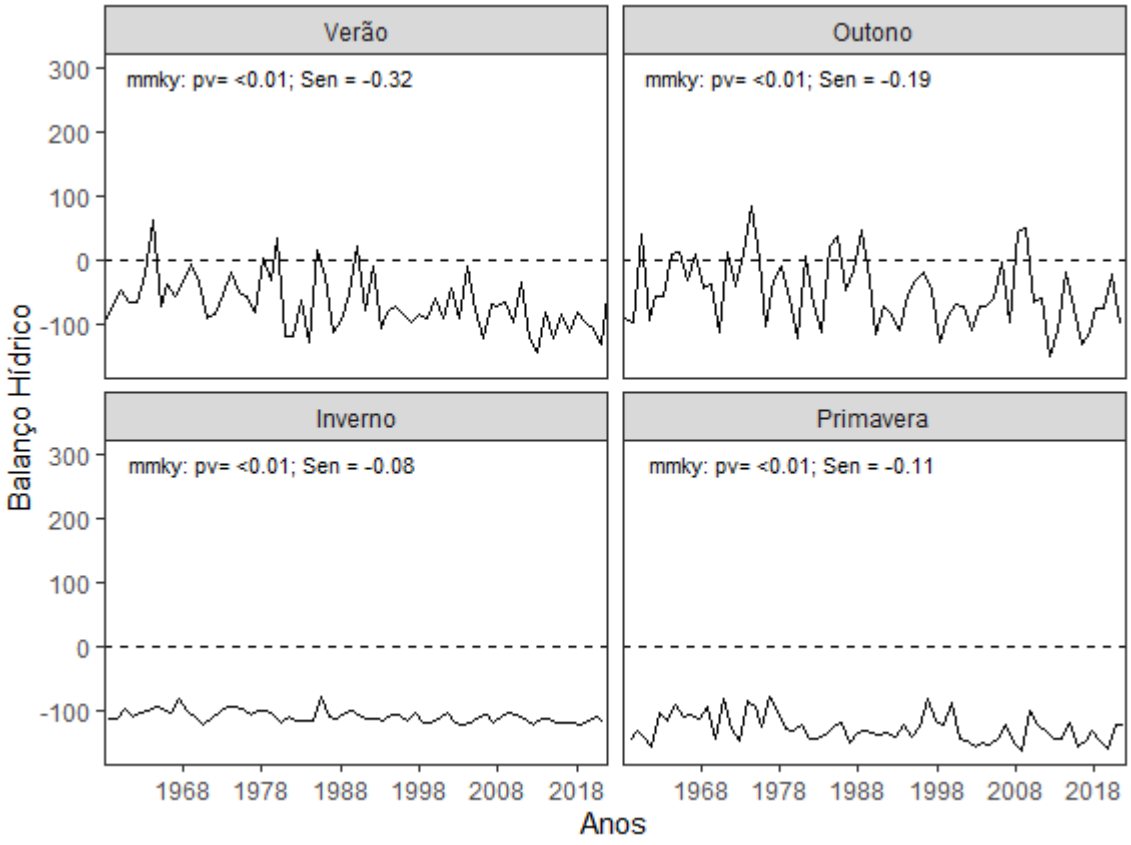


Figura 3- Série temporal e tendência do balanço hídrico no município de Petrolina segmentada por estação do ano

A série temporal do balanço hídrico segmentada por mês é apresentada na Figura 4. Verificou-se que os meses entre janeiro e abril apresentaram os maiores valores referentes ao balanço, registrando episódios de excedente hídrico em diferentes períodos ao longo da série temporal. Apesar disso, os déficits hídricos ainda permaneceram na maior parte do tempo. Entre maio e outubro, identificou-se a ocorrência completa de valores negativos, evidenciando condições persistentes de escassez hídrica, com destaque para os meses de julho, agosto e setembro, que apresentaram os menores valores do balanço hídrico. Nos meses de novembro e dezembro também predominam condições de déficits, embora tenham sido observados excedentes hídricos pontuais durante a década de 1990.

A análise de tendência evidenciou presença de tendências estatisticamente significativas em todos os meses do ano. Os valores de Sen's Slope foram negativos para todos os meses analisados, indicando uma redução gradual do balanço hídrico ao longo do período de estudo. As maiores magnitudes foram observadas em janeiro e março, ambos com Sen's Slope de -1,19, evidenciando uma diminuição mais acentuada da disponibilidade hídrica nesses meses. Tais resultados sugerem a

intensificação das condições de déficit hídrico ao longo do ano, inclusive nos meses que apresentam maior disponibilidade de água.

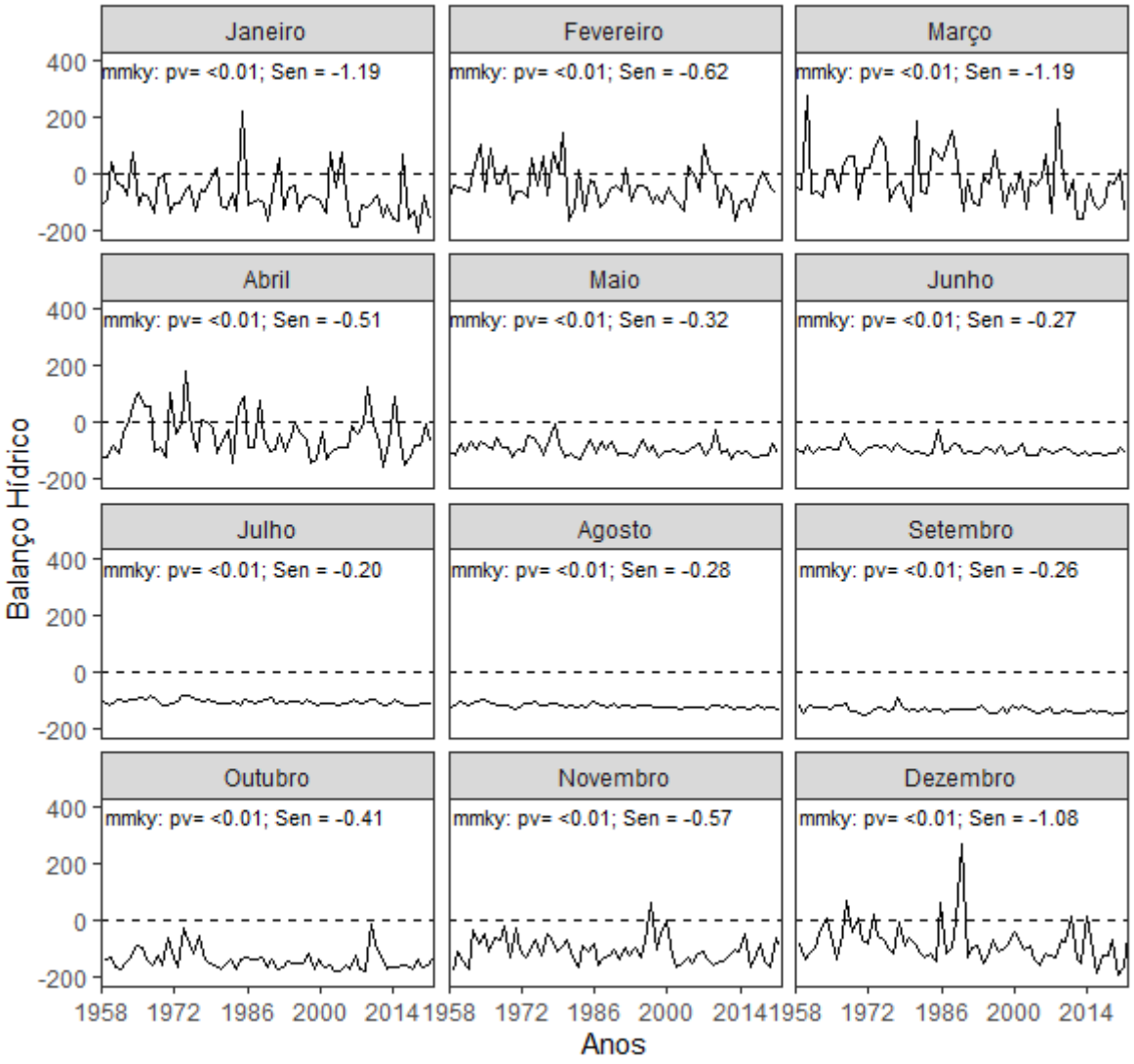


Figura 4- Série temporal e tendência do balanço hídrico no município de Petrolina segmentada por mês

A distribuição do balanço hídrico na série anual e ao longo das estações é ilustrado na Figura 5. Considerando toda a série temporal analisada, verificou-se que o balanço hídrico apresentou valores variando entre -204,76 e 274,27 mm, com média de -88,03 mm.mes^{-1}, sua assimetria foi de 1,88 evidenciando a concentração dos valores a esquerda, a baixos da média, já a curtose foi de 5 observando-se distribuição leptocúrtica, caracterizada por um pico mais acentuado e caudas mais pesadas. Ao analisar o balanço hídrico por estação do ano, observou-se que o verão apresentou valores variando entre -204,76 e 271,71 mm, com média de -66,42 mm.mes^{-1}, evidenciando elevada variabilidade nas condições hídricas desse período. No outono, os valores oscilaram entre -159,15 e 274,17 mm, com média de -49,61 mm.mes^{-1}, o inverno apresentou comportamento mais homogêneo,

com valores entre -137,12 e -108,53 mm e média de -110,62 mm.mes^{-1}, e na primavera, por sua vez, os valores variaram de -179,37 a 58,81 mm, com média de -127,58 mm.mes^{-1}.

Em relação às características da distribuição dos dados, verificou-se que todas as estações apresentaram assimetria positiva, com valores entre 1,2 e 1,6, indicando a predominância de observações inferiores à média. Quanto à curtose, os valores variaram entre 1,90 e 4,50, indicando diferentes níveis de concentração dos dados em torno da média, apresentando picos acentuados, e caudas mais pesadas, caracterizadas pela presença de valores extremos.

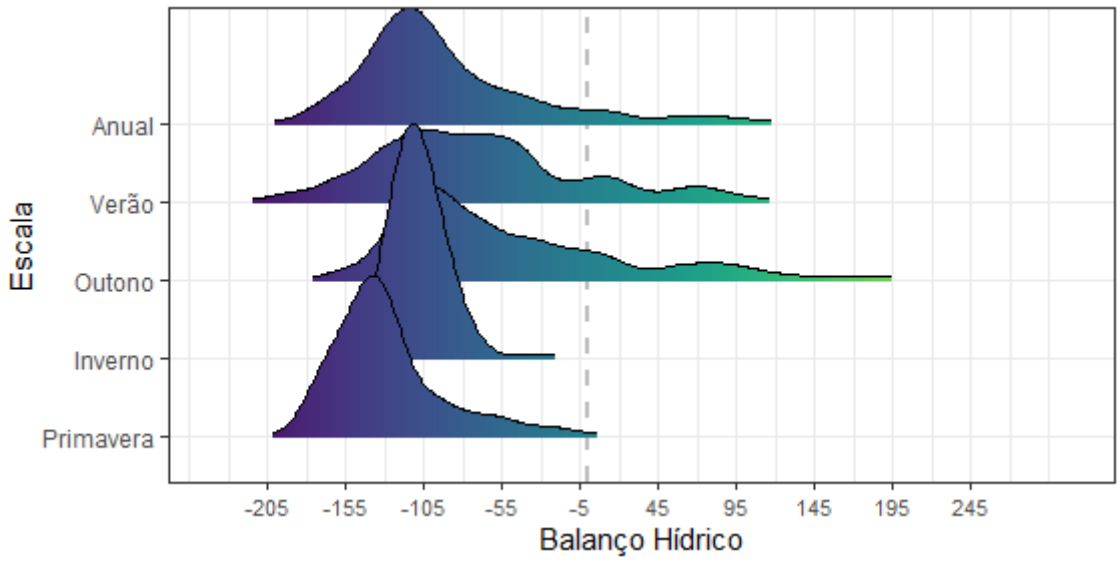


Figura 5- Variabilidade do balaço hídrico em Petrolina nas escalas anual e sazonal

A variabilidade mensal do balanço hídrico é apresentada na Figura 6. Identificou-se períodos de déficits menos intensos entre os meses de janeiro e abril, período em que também foram registrados os maiores valores máximos de balanço hídrico, indicando períodos com maior disponibilidade de água. Em contra partida, os meses entre julho e outubro registraram os menores valores médios, caracterizando o período de maior escassez hídrica no município. Em relação à distribuição dos dados, todos os meses apresentaram assimetria positiva, indicando a predominância de valores inferiores à média e a ocorrência de eventos isolados de excedente hídrico. Os valores de curtose, por sua vez, revelam diferenças na variabilidade entre os meses, destacando os meses entre junho e setembro com a maior concentração dos valores em torno da média. Tais resultados reforçam os observados na Figura 4, refletindo as características climáticas do semiárido, marcado pela irregularidade nos níveis de precipitação e pela predominância de condições de déficit hídrico ao longo do ano.

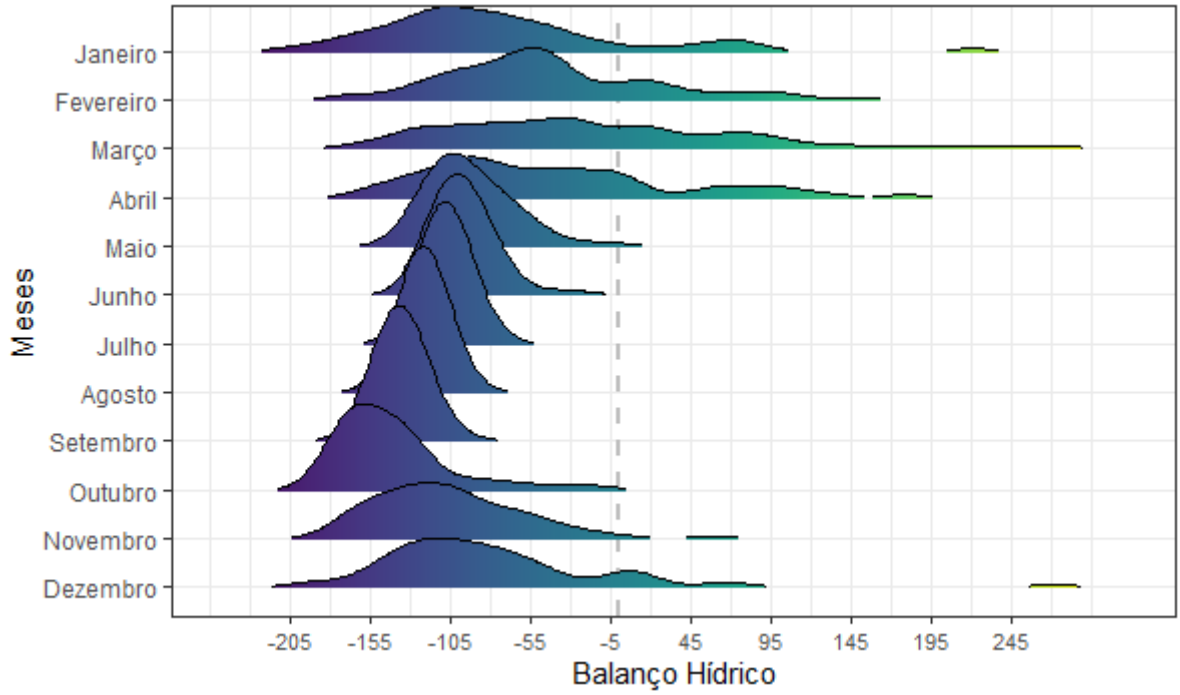


Figura 6- Variabilidade do balaço hídrico em Petrolina na escala mensal

CONCLUÇÃO

Conclui-se que o balanço hídrico do município de Petrolina-PE foi caracterizado pela predominância de condições de déficit hídrico ao longo de todo o período analisado, principalmente durante as estações do inverno e primavera e seus respectivos meses. Além disso observou-se tendências temporais decrescentes em todas as escalas temporais analisadas, indicando um agravamento nas condições de escassez hídrica no município de Petrolina. Nesse contexto, as informações obtidas ao longo desse trabalho tornam-se essenciais para a formulação de políticas públicas, principalmente relacionada a gestão de recursos hídricos, permitindo a formulação de estratégias para o armazenamento e uso eficiente da água durante os períodos de maior disponibilidade, visando a redução dos impactos associados aos déficits hídricos no município de Petrolina.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a 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

ALMEIDA, C. S.; FERREIRA, L. S.; ROSA, L. E. R.; RIBEIRO, D. P.; JESUS, J. S.; RIBEIRO, D . P.; GUIMARÃES, M. J. M.; FRANÇA, G. P. (2024). *"Balanço hídrico de área de floresta para J anuária no semiárido mineiro"* in Anais do XVII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, João Pessoa - PB, Nov. 2024, pp. 1 – 6.

KENDALL, M.G. & GIBBONS, J. D. (1962). *"Rank correlation methods"*.

LIMA, T. A.; SANTOS, L. S.; GONÇALVES, M. V. S.; OLIVEIRA, T. A. A.; LIMA, J. R. F. (202 1). *"A fruticultura como vetor do crescimento populacional do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA"*, in Desenvolvimento do semiárido: Organizações, gestão, inovação & empreendedorismo. Org. por So uza, M. M. A., Diniz, L. F. A. C., Silva, J. C. S., Clementino, V. D. R. e Neto, A. F., Editora Poisso n, Belo Horizonte – MG, 2, pp. 73 – 82.

MANN, H. B. (1945). *"Nonparametric tests against trend"*. Econometrica: Journal of the econometric society, 245-259.

R CORE TEAM. *R: "A Language and Environment for Statistical Computing"*. Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

SALDANHA, R.; AKBARINIA, R.; VALDURIEZ, P. et al. (2024). *"brclimr: Fetch Zonal Statistic s of Weather Indicators for Brazilian Municipalities"*. R package version 0.2.0.

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

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; BAYMA-SILVA, G. (2016). *"Indicadores de balanço hídric o através de imagens MODIS e dados climáticos no polo agrícola Petrolina/Juazeiro"* in Anais do XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracaju - SE, Nov. 2016, pp. 1 – 10.

THORNTHWAITE, C.W. (1948). *"An approach toward a rational classification of climate"*. Geog raphical review, 38(1), 55-94.

VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERÍA, S. & LÓPEZ-MORENO, J.I.(2010). *"A multiscalar dr ought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index"* . Journal of climate, 23(7), 1696-1718.