

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

SENSIBILIDADE DO ÍNDICE SPEI A MODELOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO DOCE

*Vinícius de Matos Brandão Raposo¹; Thaís Baêta Costa Barbosa² & Veber Afonso Figueiredo
Costa³*

Abstract: Drought is a recurrent climatic phenomenon with significant impacts on water resources, agriculture, and various socio-economic sectors. The Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) has become a widely used tool for drought monitoring due to its incorporation of potential evapotranspiration (PET) into the water balance. However, its sensitivity to the method used for estimating PET remains a critical problem. This study aimed to evaluate the influence of different PET estimation methods on drought characterization in the Doce River Basin between 1961 and 2023, using the SPEI at the three-month timescale. Three commonly applied methods were compared: Thornthwaite, Modified Hargreaves, and Penman-Monteith-FAO. Based on the SPEI-3 calculated for each method, drought events were identified and classified as moderate, severe, or extreme. The results indicate that the central portion of the Doce River Basin experienced the highest frequency of drought events. The Penman-Monteith-FAO method identified the greatest number of events, although these events showed lower average duration and magnitude. In contrast, the Modified Hargreaves and Thornthwaite methods revealed similar spatial patterns of drought frequency, but with notable differences in intensity statistics. The Thornthwaite method stood out for exhibiting greater variability in the duration and magnitude of extreme events, highlighting its sensitivity to temperature variations—an especially relevant factor in tropical climates.

Resumo: A seca é um fenômeno climático recorrente, com impactos significativos nos recursos hídricos, agricultura e demais setores socioeconômicos. O Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI, do inglês *Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index*) tem se consolidado como uma ferramenta importante para o monitoramento da seca por incorporar a evapotranspiração potencial (ETP) ao balanço hídrico. No entanto, sua sensibilidade ao método utilizado para estimar a ETP ainda é um ponto de atenção. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes métodos de cálculo da ETP na caracterização da seca na bacia do rio Doce, entre os anos de 1961 e 2023, utilizando o SPEI na escala trimestral. Foram comparados três métodos comumente aplicados: Thornthwaite, Hargreaves Modificado e Penman-Monteith-FAO. A partir do cálculo do SPEI-3 para cada método, foram identificados eventos de seca classificados como moderados, severos e extremos. Os resultados mostram que a região central da Bacia do Rio Doce concentrou a maior frequência de eventos de seca. O método de Penman-Monteith-FAO identificou o maior número de eventos, porém com menor duração e magnitude média. Em contraste, os métodos de Hargreaves Modificado e Thornthwaite apresentaram padrões espaciais semelhantes, mas com diferenças relevantes nas estatísticas de intensidade. O método de Thornthwaite destacou-se por maior variabilidade na duração e magnitude dos eventos extremos, evidenciando sensibilidade às variações de temperatura, característica especialmente relevante em climas tropicais.

1) Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG. (34) 99124-0592. vinicius-raposo@live.com

2) Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG. (31) 99244-1605. thaisbcb@gmail.com

3) Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG. (31) 99296-6908. veber@ehr.ufmg.br

Palavras-Chave – SPEI. Evapotranspiração Potencial. Bacia do Rio Doce.

1 INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno natural caracterizado por uma redução significativa e prolongada das precipitações em relação ao esperado para uma determinada região e período. Trata-se de um evento temporário, mas que pode ter impactos duradouros, tendo uma evolução lenta, já que seus efeitos podem demorar semanas ou meses para se manifestar, e ampla abrangência geográfica. A seca ainda pode ser classificada em quatro tipos principais: seca meteorológica (déficit de precipitação), agrícola (falta de umidade no solo para o cultivo), hidrológica (redução de vazões e níveis de reservatórios e aquíferos) e socioeconômica (desequilíbrio entre oferta e demanda de bens e serviços dependentes da água). Esses tipos estão interligados e podem evoluir de acordo com a duração e intensidade do déficit de água, bem como com a vulnerabilidade das populações e dos sistemas afetados (WMO, 2006).

O monitoramento da seca é essencial para compreender, antecipar e mitigar seus impactos, que afetam setores como agricultura, abastecimento hídrico, energia e saúde pública. Os índices de seca, que são representações numéricas calculadas a partir de variáveis como precipitação, temperatura, vazão ou umidade do solo, são essenciais para quantificar e comparar a severidade, duração e extensão geográfica da seca em diferentes regiões (WMO, 2016).

Um dos índices mais utilizados para caracterização de secas é o Índice Padronizado de Seca (SPI, do inglês *Standardized Precipitation Index*), proposto por McKee *et al.* (1993) e recomendado como indicador-chave pela WMO (2006). Esse índice mede as anomalias normalizadas de precipitação e, por ser um índice padronizado, permite a comparação entre locais com diferentes condições climáticas. Apesar da sua ampla aceitação, o SPI não considera outras condições atmosféricas que podem influenciar na severidade da seca. Para lidar com essa limitação, Vicente-Serrano *et al.* (2010) desenvolveram o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI, do inglês *Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index*), que considera tanto a precipitação quanto a evapotranspiração potencial, permitindo avaliar o efeito da temperatura no desenvolvimento da seca (WMO, 2006).

Stagge *et al.* (2014), mostraram que, embora o SPI e o SPEI sejam ambos índices padronizados, a inclusão da evapotranspiração potencial (ETP) no cálculo do SPEI pode gerar diferenças significativas na caracterização da seca, especialmente em contextos climáticos extremos e nos períodos do ano em que a ETP é elevada em relação à precipitação. O estudo, conduzido para todo o continente europeu, comparou cinco métodos comumente utilizados de cálculo de evapotranspiração potencial e identificaram que o método que mais se diferenciou foi o de Thornthwaite. Os autores observaram ainda que a variabilidade entre os índices segue uma distribuição Normal, sendo mais acentuada durante o verão e menos pronunciada no inverno, quando a ETP tende a ser menor.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a sensibilidade do índice SPEI em função de três diferentes métodos de cálculo da evapotranspiração potencial – Thornthwaite, Hargreaves Modificado e Penman-Monteith-FAO –, em uma região de clima tropical, onde essa variável tende a apresentar valores elevados devido às altas temperaturas e à intensa radiação solar. Para isso, foram realizadas análises espaciais do número de eventos de seca, classificados de acordo com a sua severidade, utilizando o SPEI-3 como indicador de secas de curto a médio prazo. Além disso, fez-se uma análise dos índices em grade para analisar os pixels com maior frequência de eventos de seca a fim de investigar a consistência e as diferenças entre os métodos de ETP utilizados, buscando compreender como a escolha do método pode influenciar a detecção e a representação espacial da seca na Bacia do Rio Doce entre os anos de 1961 e 2023.

2 METODOLOGIA

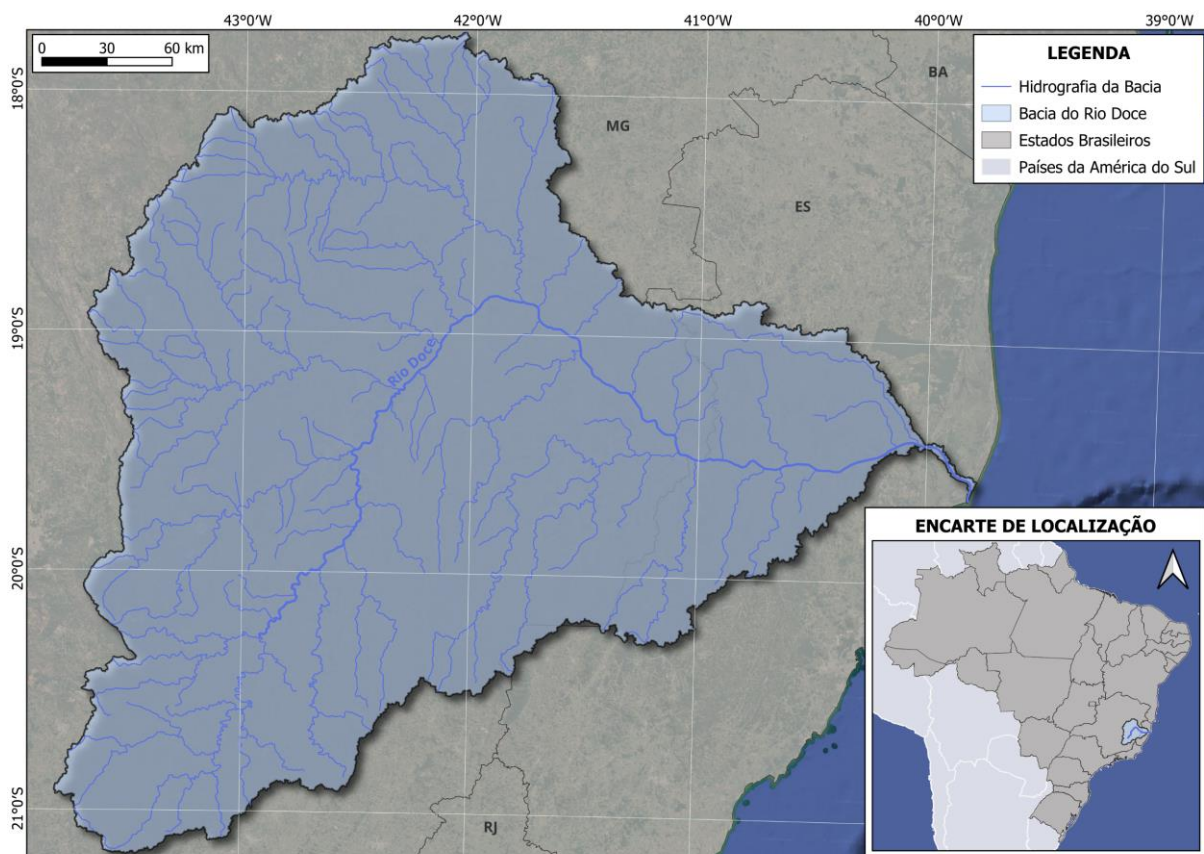
2.1 Dados e Área de Estudo

As séries temporais de dados de precipitação, temperaturas máxima e mínima, radiação extraterrestre e evapotranspiração pela equação de Penman-Monteith-FAO utilizadas neste estudo foram obtidas a partir do conjunto de dados meteorológicos em grade (*gridded*) desenvolvido por Xavier *et al.* (2022), que abrange o território brasileiro e compreende o período entre 1961 e 2024. Esse conjunto de dados possui uma resolução espacial de 0,1° x 0,1° e foi obtido com base em interpolações entre os dados observados de 11.473 pluviômetros e 1.252 estações meteorológicas espalhados pelo Brasil.

A área do estudo definida foi a Bacia do Rio Doce (Figura 1), que compreende uma área de 82.420,42 km² entre os estados de Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES), englobando um total de 271 municípios brasileiros. A escolha da Bacia do Rio Doce como área de estudo é justificada por sua relevância hidrológica, ambiental e socioeconômica, além de sua importância econômica para o país.

Segundo a classificação climática de Köppen adaptada para o Brasil (Alvares *et al.*, 2013), grande parte das regiões central, norte e oeste dessa região apresenta clima tropical com estação seca no inverno (Aw). Por outro lado, as regiões sul e leste são dominadas por climas subtropicais úmidos, com inverno seco e verão quente (Cwa) ou verão ameno (Cwb). Assim, compreender a sensibilidade dos índices de seca a diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial nessa região pode contribuir para estratégias mais eficazes de mitigação e adaptação aos eventos extremos.

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do Rio Doce



2.2 Equações de Evapotranspiração

Para o cálculo da evapotranspiração potencial na bacia do Rio Doce, foram selecionados os métodos de Thornthwaite, Hargreaves Modificado e Penman-Monteith-FAO, amplamente utilizados e fundamentados em dados de temperatura como variável principal.

O método de Thornthwaite é o único que se baseia em uma relação empírica entre a temperatura média mensal e a evapotranspiração potencial. Apesar dessa diferença e de suas limitações conhecidas e citadas por Stagge *et al.* (2014), o método Thornthwaite é amplamente utilizado e é citado por Vicente-Serrano *et al.* (2010) na metodologia original do SPEI. O cálculo de evapotranspiração potencial de acordo com o método de Thornthwaite (1948) é feito conforme a Equação 1, em que ETP é a evapotranspiração potencial em mm, L é a duração média do dia no mês considerado, N é o número de dias do mês, T é a temperatura média mensal do ar em graus Celsius, I é o índice de calor e a é um coeficiente empírico.

$$ETP_{TH} = 16 \left(\frac{L}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (1)$$

Os métodos de Hargreaves Modificado e Penman-Monteith-FAO seguem a forma geral de cálculo de evapotranspiração potencial, conforme Equação 2, na qual Rn representa a radiação líquida, γ é a constante psicrométrica e Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor de saturação em função da temperatura do ar (Stagge *et al.*, 2014).

$$ETP = \frac{\Delta \cdot Rn + \gamma \cdot \text{"termo de transferência de massa"}}{\Delta + \gamma} \quad (2)$$

Para calcular a evapotranspiração pelo método de Hargreaves, utilizou-se, no presente estudo, a equação modificada de Hargreaves disponível no pacote SPEI do R (Equação 3), e que utiliza dados mensais de precipitação. Droogers e Allen (2002) propuseram essa equação modificada em relação à versão original de Hargreaves e Samani (1985) a fim de incluir a precipitação, considerando que esse poderia ser um dado que representasse os níveis relativos de umidade. Dessa maneira, essa equação utiliza a radiação extraterrestre (RA), a temperatura média diária em graus Celsius (T_{avg}), a amplitude térmica, calculada como a diferença entre a temperatura máxima diária média e a mínima diária média (TD) e a precipitação mensal em mm (P) como base para estimar a transpiração.

$$ETP_{HG} = 0,0013 \cdot 0,408 RA \cdot (T_{avg} + 17,0) \cdot (TD - 0,0123P)^{0,76} \quad (3)$$

O método de Penman-Monteith-FAO combina o balanço de energia e a transferência de massa, utilizando variáveis climáticas, como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, para estimar a evapotranspiração de uma superfície de referência. Apesar de sua complexidade e da necessidade de múltiplos dados meteorológicos, esse método é amplamente reconhecido por sua fundamentação física, sendo recomendado como padrão pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) no Manual de Irrigação e Drenagem nº 56 (FAO, 2006).

No presente estudo, não foi realizado o cálculo direto da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith-FAO. Em vez disso, utilizou-se a série temporal de evapotranspiração já estimada por esse método, conforme apresentada em Xavier *et al.* (2022). A Equação 4 reproduz a forma adotada pelos autores para o cálculo da evapotranspiração potencial (ET_o), utilizada no cálculo do índice SPEI, com base na radiação líquida (Rn), no fluxo do calor do solo (G), na temperatura do ar a dois metros de altura (T), na velocidade do vento a dois metros de altura (u_2), e no déficit de pressão de vapor de saturação ($e_s - e_a$).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (4)$$

2.3 Cálculo do SPEI

O cálculo do índice de seca SPEI foi realizado utilizando o pacote SPEI (Beguería e Vicente-Serrano, 2023) no ambiente de programação R. Foram calculados três SPEI-3 para a área de estudo, cada um deles utilizando os dados de evapotranspiração calculados pelas equações citadas anteriormente (Thornthwaite, Hargreaves Modificado e Penman-Monteith-FAO). Conforme indicações de Vicente-Serrano *et al.* (2010), ajustou-se a função de distribuição log-logística às séries de dados contendo a diferença entre as variáveis de precipitação e evapotranspiração potencial. Os eventos de seca foram identificados sempre que o valor do índice fosse inferior a -1, sendo considerado encerrado quando o indicador retornava a valores positivos.

2.3 Identificação dos eventos de seca

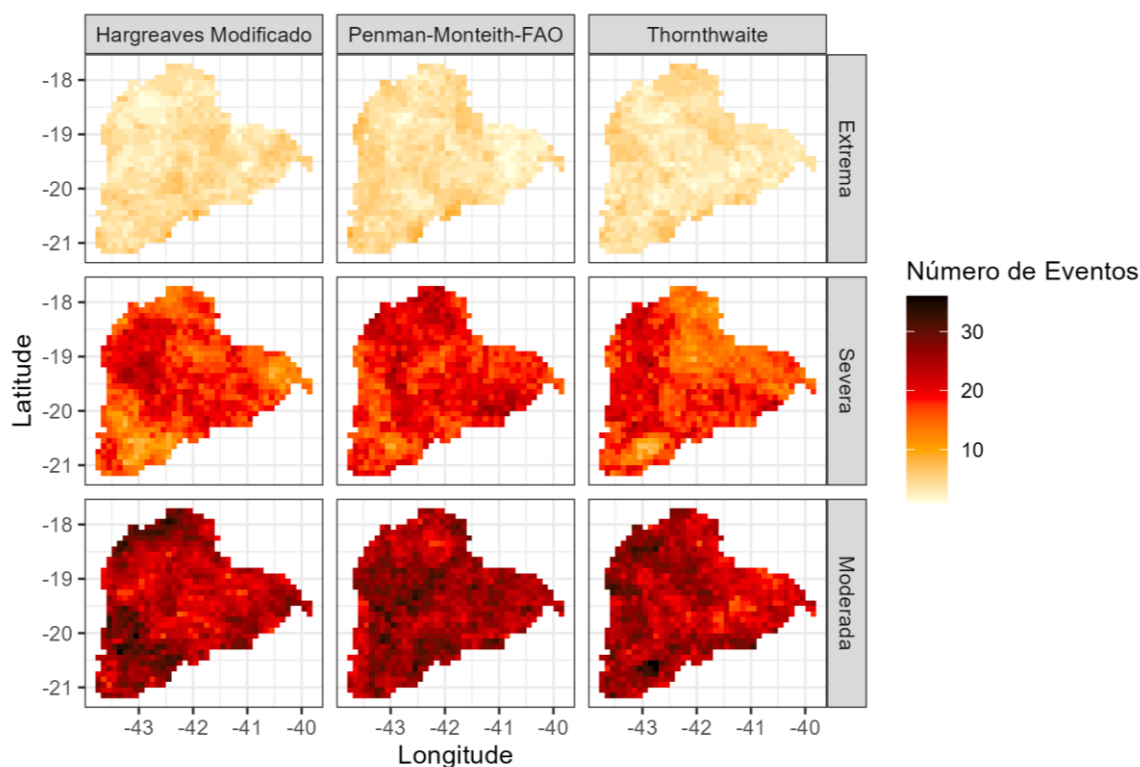
Após o cálculo do SPEI-3, os eventos de seca foram classificados como moderados (valores de SPEI entre -1,0 e -1,5), severos (entre -1,5 e -2,0) e extremos (valores inferiores a -2,0). Em seguida, foi selecionado o pixel que, entre os diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração analisados, apresentou o maior número de eventos classificados como extremos, com o objetivo de aprofundar a análise da duração e da magnitude das secas. A duração foi definida como o intervalo contínuo de tempo entre o início do evento ($\text{SPEI} < -1,0$) e seu encerramento (quando o índice retorna a valores positivos). Já a magnitude foi obtida pela soma dos valores absolutos do SPEI ao longo de cada evento, refletindo a intensidade acumulada da seca.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial do número de eventos de secas moderadas, severas e extremas na Bacia do Rio Doce, entre 1961 e 2023, com base no índice SPEI calculado a partir dos métodos distintos de estimativa da evapotranspiração potencial de Thornthwaite, Hargreaves Modificado e Penman-Monteith-FAO. Os mapas estão organizados conforme a severidade dos eventos, contemplando secas moderadas, severas e extremas, o que possibilita uma análise comparativa entre os métodos em diferentes níveis de intensidade da seca.

Observa-se na Figura 2 que, independentemente da classe de intensidade da seca, os eventos tendem a se concentrar com maior frequência na porção central da Bacia do Rio Doce. Em contraste, as regiões sudoeste e nordeste da bacia apresentam um número menor de registros de eventos, sugerindo uma menor recorrência das secas nessas regiões. No que se refere à influência dos métodos de estimativa da evapotranspiração, destaca-se que o método de Penman-Monteith-FAO identificou, de modo geral, um número mais elevado de eventos, especialmente nas categorias severa e extrema, ao longo de quase toda a bacia. Isso pode estar associado à maior sensibilidade desse método à variabilidade climática em relação aos demais, por considerar múltiplos fatores meteorológicos como radiação, temperatura, umidade e velocidade do vento. Por outro lado, os métodos de Hargreaves Modificado e Thornthwaite, por se basearem em um menor número de variáveis climáticas, podem resultar na identificação de menos eventos de seca mais intensos, quando comparados ao método de Penman-Monteith-FAO.

Figura 2 – Número de eventos de secas de acordo com a severidade (extremas, severas e moderadas) para os diferentes métodos de cálculo de evapotranspiração (Hargreaves Modificado, Penman-Monteith-FAO e Thornthwaite)

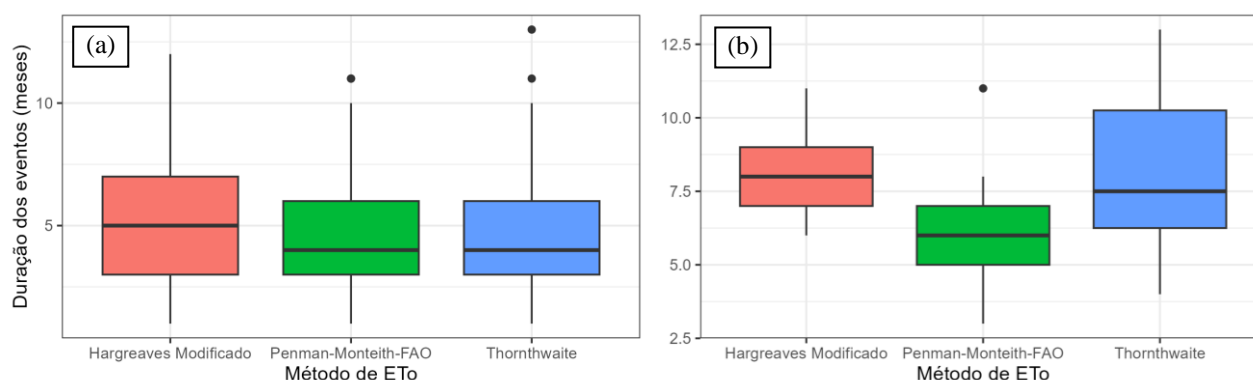


A influência das variáveis climáticas utilizadas em cada método também é discutida por Stagge *et al.* (2014), que observaram que a equação de Thornthwaite, apesar de sua simplicidade e ampla adoção, frequentemente apresenta maiores desvios em relação aos demais métodos, inclusive durante o inverno, quando tende a subestimar a ETP. Essa sensibilidade foi atribuída principalmente à forma como cada método incorpora o termo de radiação, com os métodos baseados em radiação observada apresentando os maiores valores de ETP e, consequentemente, os maiores desvios em relação ao SPI. Para além da frequência dos eventos, a análise da duração das secas fornece informações relevantes sobre a persistência das condições de déficit hídrico, o que é elemento-chave para entender os impactos prolongados sobre os sistemas naturais e antrópicos. A Figura 3(a) apresenta a distribuição da duração dos eventos de seca identificados com base nos diferentes métodos de cálculo da evapotranspiração potencial. Nota-se que as secas identificadas utilizando o método de Hargreaves Modificado possuem duração mediana superior à dos métodos de Penman-Montheith-FAO e Thornthwaite sendo, respectivamente, de 5, 4 e 4 meses. Isso pode ser justificado pois, em termos médios, o método de Hargreaves Modificado conduziu a valores mais elevados de evapotranspiração, influenciando diretamente o balanço hídrico climático.

Com o objetivo de investigar a duração dos eventos classificados como secas extremas, categoria que tende a causar os impactos mais severos sobre os sistemas ambientais e socioeconômicos, analisou-se a distribuição das durações conforme os diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial (Figura 3(b)). Observa-se que o método de Thornthwaite apresentou a maior variabilidade nas durações desses eventos extremos, conforme indicado pela amplitude do intervalo interquartil e pela presença de valores mais extremos. Esse resultado sugere uma sensibilidade maior desse método à persistência das condições de secas, possivelmente devido à sua dependência exclusiva da temperatura. Por outro lado, o método de Penman-Monteith-FAO

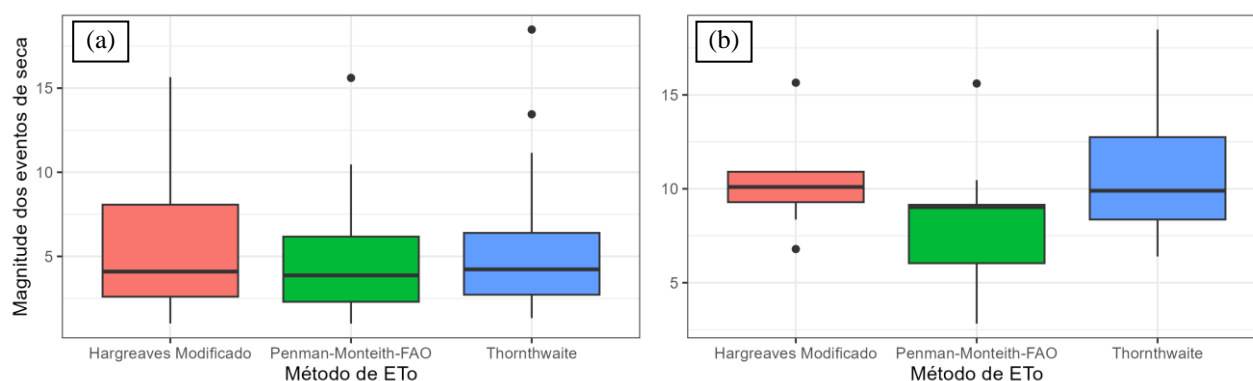
resultou nas menores durações medianas dos eventos, com uma distribuição mais concentrada e menor dispersão, indicando que, sob esse critério, os episódios de seca extrema tendem a ser mais curtos. O método de Hargreaves Modificado apresentou comportamento intermediário, com mediana superior à de Penman-Monteith-FAO, mas com menor variabilidade que Thornthwaite. Esses resultados ressaltam a importância do critério adotado para estimativa da evapotranspiração na identificação e caracterização temporal das secas extremas.

Figura 3 –Distribuição da duração (a) dos eventos de seca e (b) dos eventos de secas severas por método de cálculo de evapotranspiração



A magnitude dos eventos de seca, considerando cada uma das equações utilizadas para o cálculo da evapotranspiração potencial, é apresentada na Figura 4(a), enquanto a Figura 4(b) mostra os resultados restritos aos eventos classificados como extremos. Pela Figura 4(a), observa-se que o método de Hargreaves Modificado resultou em uma maior variabilidade na magnitude dos eventos de seca, conforme indicado pela amplitude do intervalo interquartil. Apesar disso, os três métodos (Hargreaves Modificado, Penman-Monteith-FAO e Thornthwaite) apresentaram os valores medianos de magnitude muito semelhantes com valores de 4,09, 3,87 e 4,23, respectivamente. Em análise à Figura 4(b), ao considerar apenas os eventos classificados como extremos, observa-se que o método de Thornthwaite passou a apresentar os valores medianos mais elevados de magnitude, além de uma maior amplitude entre os quartis e presença de valores máximos mais altos. Esse resultado indica que, segundo esse método, os eventos de seca extrema tendem a ser mais intensos em termos acumulados, o que pode estar associado à sensibilidade desse método às variações de temperatura, especialmente relevante em regiões de climas tropical.

Figura 4 - Distribuição da magnitude (a) dos eventos de seca e (b) dos eventos de secas severas por método de cálculo de evapotranspiração



4 CONCLUSÕES

Neste estudo, investigou-se a influência do método de cálculo da evapotranspiração potencial nas estatísticas de seca obtidas por meio do índice SPEI. Para isso, foram geradas séries temporais de evapotranspiração para toda a Bacia do Rio Doce utilizando as equações de Thornthwaite, Hargreaves Modificado e Penman-Monteith-FAO. Em seguida, o SPEI foi calculado na escala de três meses (SPEI-3), a partir do balanço entre precipitação e evapotranspiração em cada célula da grade espacial, permitindo caracterizar secas de curta a média duração. Com base nas estimativas de SPEI, foram quantificados o número de eventos de seca moderada, severa e extrema, além da duração e magnitude de cada evento.

Os resultados indicam que a porção central da Bacia do Rio Doce concentrou a maior frequência de eventos de seca, independentemente do método utilizado. O método de Penman-Monteith-FAO foi o que identificou o maior número de eventos, embora esses eventos tenham, em média, menor duração e menor magnitude em comparação aos demais métodos. Por outro lado, os métodos de Hargreaves Modificado e Thornthwaite apresentaram padrões espaciais bastante semelhantes em relação à frequência de eventos, mas com diferenças mais marcantes quando analisadas as estatísticas de magnitude. Notadamente, o método de Thornthwaite apresentou os maiores intervalos interquartis nas distribuições de duração e magnitude dos eventos extremos, sugerindo maior sensibilidade às variações de temperatura, sendo um fator relevante para regiões tropicais como a Bacia do Rio Doce.

Esses achados reforçam a importância de considerar o método de estimativa da evapotranspiração como um elemento crítico na aplicação do SPEI, especialmente quando se busca uma caracterização precisa dos eventos de seca em diferentes escalas de tempo e intensidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas durante a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., DE MORAES GONÇALVES, J.L., SPAROVEK, G. (2013). “*Köppen’s climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift*”. 22, 711–728.

BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S.M. “*SPEI: Calculation of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index*”. R-pacote versão 1.8.1. Disponível em <<https://CRAN.R-project.org/package=SPEI>>.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). “*Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*”. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56. Roma: FAO.

DROOGERS, P. & ALLEN, R. G. (2002). “*Estimating Reference Evapotranspiration Under Inaccurate Data Conditions*”. Irrigation and Drainage Systems, (16), 33-45.

- HARGREAVES, G. H. & SAMANI, Z. A. (1985). “*Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature*”. American Society of Agricultural Engineers, 96–99.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J. & KLEIST, J. (1993) “*The relationship of drought frequency and duration to time scales*”. In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society Boston, MA, pp. 179–183.
- STAGGE, J. H., TALLAKSEN, L. M., XU, C. Y. & VAN LANEN, H. A. (2014). “*Standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI): Sensitivity to potential evapotranspiration model and parameters*”. Hydrol. Chang. World 363, 367–373.
- THORNTHWAITE, C. W. (1948). “*An approach toward a rational classification of climate*”. Geographical review 38(1), 55–94.
- VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. (2010). “*A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI*”. J. Climate 23, 1696–1718.
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2006). “*Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges*”. WMO-No. 1006.
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2016). “*Handbook of Drought Indicators and Indices*”. WMO-No. 1173.
- XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. (2022). “*New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)*”. Int. J. Climatol. 42(15), 8106–8125.