

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL EM UM CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA O TERRITÓRIO BRASILEIRO

Tiago de Moura Marques Aguiar¹; Eduardo Silva Alexandre¹; Jamil A. A. Anache¹; André Simões Ballarin¹ & Edson Wendland¹

Abstract: Potential evapotranspiration (PET) is a key variable for several fields of environmental sciences, especially in the context of climate change, due to its influence on the water balance, and, consequently, on water and food security. This work presents the development of a PET database for Brazil, based on FAIR principles, aiming at accessibility, reproducibility, and broad scientific applicability. For this purpose, the Climate Change Dataset for Brazil (CLIMBra) dataset was used, which provides daily bias-corrected climate projections for both historical (1980–2013) and future (2015–2100) periods for six meteorological variables from 10 CMIP6 climate models under two socioeconomic scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5). Four PET formulations were considered, incorporating different levels of complexity and uncertainty in PET estimation. The database, which is still under development, will include detailed metadata, standardized variables, and a user manual, facilitating its integration into scientific studies and management initiatives. Data analysis will enable the assessment of the spatial and temporal variability of PET at different scales, contributing to adaptation and mitigation strategies for the impacts of climate change on water resources and ecosystems in Brazil. The results highlight the importance of multiple approaches in PET modeling and reinforce the need for high-quality climate data to support public policies and sustainable planning.

Resumo: A evapotranspiração potencial (PET) é uma variável-chave para diversas áreas das ciências ambientais, especialmente no contexto das mudanças climáticas, por sua influência sobre o balanço hídrico, e, consequentemente, na segurança hídrica e alimentar. Este trabalho apresenta a construção de uma base de dados de PET para o Brasil, fundamentada nos princípios FAIR, visando à acessibilidade, reproduzibilidade e ampla aplicabilidade científica. Para isso, foi utilizada a base de dados CLIMBra – Climate Change Dataset for Brazil, que oferece projeções climáticas corrigidas de viés para o período histórico (1980-2013) e futuro (2015-2100), com dados diários de seis variáveis meteorológicas, provenientes de 10 modelos climáticos do CMIP6, sob dois cenários futuros (SSP2-4.5 e SSP5-8.5). Foram consideradas quatro formulações de PET, incorporando diferentes níveis de complexidade e incerteza na estimativa da PET. A base de dados, ainda em desenvolvimento, incluirá metadados detalhados, padronização de variáveis e manual de uso, facilitando sua integração em estudos científicos e iniciativas de gestão. A análise dos dados permitirá avaliar a variabilidade espacial e temporal da PET em diferentes escalas, contribuindo para estratégias de adaptação e mitigação aos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e ecossistemas no Brasil. Os resultados destacam a importância de múltiplas abordagens na

¹⁾ Afiliação: Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo, CxP. 359, São Carlos-SP, 13566-590. Email: tiagommaguiar@usp.br, esalexandre@usp.br, jamil.anache@usp.br, andre.ballarin@usp.br, ew@sc.usp.br.

estimativa da PET e reforçam a necessidade de dados climáticos de alta qualidade para subsidiar políticas públicas e o planejamento sustentável.

Palavras-Chave – evapotranspiração potencial, mudanças climáticas, base de dados.

1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração potencial (*PET*), também reconhecida como a demanda hídrica atmosférica, é uma variável chave para diversas áreas da Ciência, como Hidrologia, Agronomia, Ecologia e Climatologia (Singer et al., 2021). Representando a quantidade máxima de água que pode ser transferida da superfície para a atmosfera sob condições ideais de disponibilidade hídrica - ou o limite teórico superior da evapotranspiração (*ET*) - a *PET* é amplamente utilizada em estudos de balanço hídrico, planejamento agrícola, modelagem climática e gestão de recursos hídricos (Milly; Dunne, 2016; Sun et al., 2023).

Diante da relação entre *PET* e diversas variáveis hidroclimatológicas, entende-se que uma precisa compreensão de suas dinâmicas espaço-temporais é fundamental, visto que possíveis alterações em suas propriedades podem afetar diferentes aspectos da biosfera, como, por exemplo, o particionamento do balanço hídrico e suas componentes e, consequentemente, a disponibilidade hídrica para diferentes atividades humanas e para a manutenção de ecossistemas (Wang; Dickinson, 2012). Em um contexto de mudanças climáticas e ambientais, esse entendimento torna-se ainda mais relevante. Diversos estudos confirmam o papel fundamental do potencial de evapotranspiração na definição da disponibilidade hídrica presente e futura ao redor do globo (Ballarin et al., 2023a; Dai, 2013; Fu; Feng, 2014; Trancoso et al., 2024), podendo afetar ainda outros aspectos, como por exemplo, a ocorrência de secas (e.g., Ballarin et al., 2024; Vicente-Serrano et al., 2022; Vicente-Serrano; Beguería; López-Moreno, 2010), e, consequentemente, a segurança alimentar e o funcionamento dos ecossistemas (Zomer; Xu; Trabucco, 2022).

Apesar da importância da *PET* para diversos campos da Ciência, que inclusive já culminou com iniciativas para a modelagem distribuída da evapotranspiração (Melton et al., 2022), ainda não existe, no Brasil, uma base de dados abrangente que contenha estimativas da evapotranspiração potencial considerando o atual contexto de mudanças climáticas. Diante do exposto e com base na importância de um preciso entendimento de *PET* para a gestão sustentável de sistemas naturais e artificiais, o presente trabalho tem como propósito construir uma base de dados de evapotranspiração potencial para todo o território nacional, seguindo os princípios e diretrizes estipulados pelo FAIR - *Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable* (Wilkinson et al., 2016), garantindo a acessibilidade e reutilização dos métodos e dados desenvolvidos. Para este fim, considerou-se as projeções climáticas com correção de viés da base CLIMBra e diferentes formulações de *PET*. Os resultados encontrados podem auxiliar estratégias de gestão de recursos hídricos, agricultura, e conservação ambiental, oferecendo informações essenciais para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em escalas regional e nacional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. DADOS CLIMÁTICOS

O presente estudo utiliza a base de dados CLIMBra (Ballarin et al., 2023b), que disponibiliza projeções climáticas com e sem correção de viés para o período histórico (1980-2013) e para projeções futuras (2015-2100) com uma resolução espacial de 0,25°. A base de dados fornece

informações diárias de seis variáveis climáticas - temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar - realizadas por até 19 modelos climáticos do CMIP6, dependendo da variável em questão, considerando dois cenários distintos do CMIP6, SSP2-4.5 e SSP5-8.5. O primeiro representa um cenário intermediário, caracterizado por emissões moderadas de gases de efeito estufa e adoção limitada de políticas de mitigação. Já o segundo representa um cenário extremo, com altas emissões associadas a um desenvolvimento socioeconômico dependente de combustíveis fósseis e ausência de políticas significativas de mitigação.

Além do conjunto de dados em malha, disponibilizado em formato netCDF (.nc), a base de dados do CLIMBra também fornece projeções em escala pontual (.csv) para 735 bacias hidrográficas incluídas no conjunto de dados CABra (Almagro et al., 2021). Esses dados pontuais correspondem à média espacial dos dados em malha dentro do território de cada bacia, facilitando sua aplicação em estudos hidroclimatológicos. A disponibilização nesse formato alternativo visa reduzir a demanda computacional associada ao uso de arquivos em malha, ampliando o acesso e o uso dos dados por pesquisadores e profissionais da área. Seguindo o mesmo princípio, a base de dados apresentada neste trabalho também disponibilizará, adicionalmente, os dados em escala de bacia.

Para atender ao objetivo de avaliar diferentes formulações de *PET*, o presente trabalho utilizou dados de apenas 10 modelos climáticos presentes na base de dados do CLIMBra que incluem todas as variáveis necessárias para o cálculo da *PET* (Tabela 1). Considerando as limitações conhecidas das simulações climáticas brutas, como erros sistemáticos e baixa representatividade em escala nacional (Ansari et al., 2023; Ballarin et al., 2023b), este estudo utilizou somente os dados com correção de viés através do método de mapeamento delta quantil (Cannon; Sobie; Murdock, 2015). Mais detalhes acerca das etapas de pré e pós-processamento dos dados podem ser encontrados em Ballarin et al. (2023b).

Tabela 1 – Modelos climáticos do CMIP6 utilizados no presente estudo.

Modelo	País/Região	Resolução original
MRI-ESM2	Japão	1,12° × 1,12°
EC-EARTH3	Europa	0,7° × 0,7°
CMCC-ESM2	Europa	0,9° × 1,25°
INM-CM4-8	Rússia	1,5° × 2,0°
NorESM2-MM	Noruega	0,9° × 1,25°
MPI-ESM1.2-HR	Alemanha	0,9° × 0,9°
INM-CM5	Rússia	1,5° × 2,0°
ACCESS-ESM1-5	Austrália	1,87° × 1,25°
IPSL-CM6	França	2,5° × 1,3°
MIROC6	Japão	1,4° × 1,4°

2.2. EQUACIONAMENTO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

Foram utilizadas quatro diferentes formulações para a evapotranspiração potencial. A primeira delas (Equação 1), proposta por Hargreaves e Samani (1985), depende somente de dados de temperatura para a estimativa de PET . A segunda formulação (Equação 2) utiliza a equação clássica de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração potencial, adotando algumas padronizações, tais como altura de cultura e resistência aerodinâmica definidas pela FAO (*Food and Agriculture Organization – Nações Unidas*), amplamente utilizada em estudos de impacto climático (Lemaitre-Basset; Oudin; Thirel, 2022). A terceira (Equação 3), utiliza uma equação alternativa, proposta por Yang et al. (2019) que considera os efeitos da concentração de CO_2 na redução da perda de água por parte das plantas, afetando os valores de evapotranspiração potencial. Por fim, a última equação (Equação 4), proposta por Priestley e Taylor (1972), representa uma simplificação da equação de Penman que permite a estimativa de PET através da consideração de variáveis “radiativas” apenas, não exigindo a utilização de variáveis aerodinâmicas (Lemaitre-Basset et al., 2022). Optou-se por utilizar diferentes equações de PET a fim de considerar, ainda que de maneira indireta, as diferentes incertezas associadas à determinação de PET através de formulações teóricas e empíricas. Devido às diferentes hipóteses e simplificações assumidas, cada equação resulta em uma trajetória diferente de PET , sendo mais ou menos sensível a variações climáticas específicas (Milly; Dunne, 2016).

$$PET_{Hg} = 0,0023 \cdot 0,408 \cdot R_a \cdot (T + 17,8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (1)$$

$$PET_{PM-FAO} = \frac{0,408 \cdot s \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T+273} \right) \cdot u \cdot D}{s + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u)} \quad (2)$$

$$PET_{PM-CO_2} = \frac{0,408.s.(R_n - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T+273} \right) \cdot u.D}{s+\gamma \cdot \{1+u.[0,34+2,4 \times 10^{-4}(CO_2 - 300)]\}} \quad (3)$$

$$PET_{PT} = \alpha \cdot \frac{s}{s+\gamma} \cdot \frac{(R_n - G)}{\lambda} \quad (4)$$

Onde s é o gradiente da pressão de saturação (Pa.K^{-1}), R_n é o fluxo de radiação líquida ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$), G é o fluxo de calor sensível para o solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$), γ é a constante psicrométrica (Pa.K^{-1}), T é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), u é a velocidade do vento próximo à superfície (2 m; m.s^{-1}), D é a diferença entre a pressão de vapor saturada e a real (Pa), R_a é a radiação solar no topo da atmosfera, obtida através dos dados de latitude e dia do ano, e α é uma constante ajustada para refletir a magnitude geral do calor latente em relação ao fluxo de calor sensível (em geral, $\alpha = 1.26$ para superfícies bem irrigadas). λ é o calor latente de vaporização da água $\approx 2,45 \text{ MJ/kg}$, necessário para converter de energia para volume de água evaporada (em mm). O termo $2.4 \times 10^{-4}(CO_2 - 300)$ contabiliza os efeitos das concentrações de CO_2 no uso da água pelas plantas. A constante 0.408 representa a conversão de unidades para mm de água equivalente.

2.3. CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS

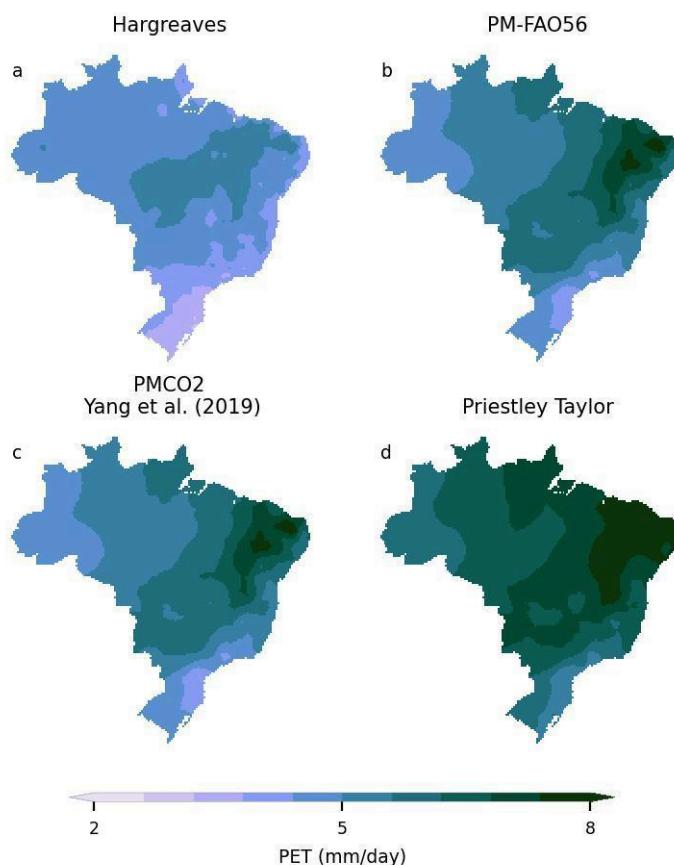
A base de dados segue os princípios e diretrizes estipulados pelo FAIR (Wilkinson et al., 2016), garantindo a acessibilidade e reutilização dos métodos e dados desenvolvidos. Para implementar essas diretrizes, serão criados metadados detalhados para cada conjunto de dados, padronizando variáveis e nomenclaturas para promover consistência e uniformidade. Também será elaborado um manual de uso, contendo descrições das variáveis, formatos e orientações sobre aplicações possíveis dos dados, seguindo o formato dos dados presentes no CLIMBra. Essas ações visam facilitar a ampla utilização da base de dados por diferentes áreas do conhecimento e promover sua integração em iniciativas de pesquisa e gestão, assegurando sua relevância e acessibilidade no longo prazo.

3. RESULTADOS

Para analisar as diferentes equações de PET utilizadas neste estudo e avaliar as diferenças entre elas, elaborou-se mapas comparativos da média temporal de PET no Brasil (Figura 1). Para isso, utilizou-se as simulações para o período histórico dos 10 modelos climáticos, processadas por meio da técnica de *ensemble*. Esse procedimento consiste na integração de diferentes projeções climáticas, oriundas de diversos modelos globais, de modo a reduzir incertezas associadas às particularidades e limitações individuais de cada modelo. Inicialmente, para cada método de estimativa da PET — e Hargreaves, Penman-Monteith FAO56, Penman-Monteith com ajuste para CO_2 e Priestley-Taylor —, foram calculadas séries temporais anuais baseadas nas variáveis climáticas correspondentes (como temperatura, radiação total, umidade relativa e velocidade do vento), previamente corrigidas por viés. Posteriormente, foi realizada a média entre os resultados dos diferentes modelos, gerando um produto em formato NetCDF representativo do *ensemble* para cada método. O uso do *ensemble* permite capturar uma gama mais ampla de cenários possíveis, suavizando extremos e tendências específicas de modelos isolados, e oferecendo uma estimativa mais robusta e confiável da PET para o período histórico considerado. Esses produtos *ensemble* foram, então, utilizados na geração dos mapas, possibilitando uma comparação entre métodos sob uma perspectiva integrada.

Ao analisar a Figura 1, percebe-se que no painel *d*, que representa o método de Priestley Taylor, os valores de *PET* são significativamente superiores ($PET_{PT} = 6,72 \text{ mm/dia}$) aos valores obtidos pelas demais formulações em grande parte do Brasil. Já no painel *a*, que representa o método de Hargreaves, percebe-se valores mais moderados ($PET_{Hg} = 4,67 \text{ mm/dia}$) para todo o território, inclusive no semiárido nordestino, com valores de PET próximos de 8 mm/dia para os outros três métodos. Para as demais formulações (Figura 1*b*, *c*), os valores de *PET* são os mesmos ($PET_{PM} = 5,54 \text{ mm/dia}$), dado que, para o período histórico, os efeitos da concentração de CO_2 na equação proposta por Yang et al. (2019) foram desconsiderados. Esses resultados demonstram a grande variabilidade associada às diferentes equações de *PET* no território brasileiro. Essas diferenças, por sua vez, acabam sendo transferidas para as demais etapas de processamento em estudos hidrológicos, podendo afetar significativamente os produtos finais.

Figura 1 - Mapas espacializados da média de longo-termo de *PET* diária para o período histórico (1980-2013) considerando os métodos de Hargreaves, Penman-Monteith FAO56, Penman-Monteith com ajuste para CO_2 e Priestley-Taylor.



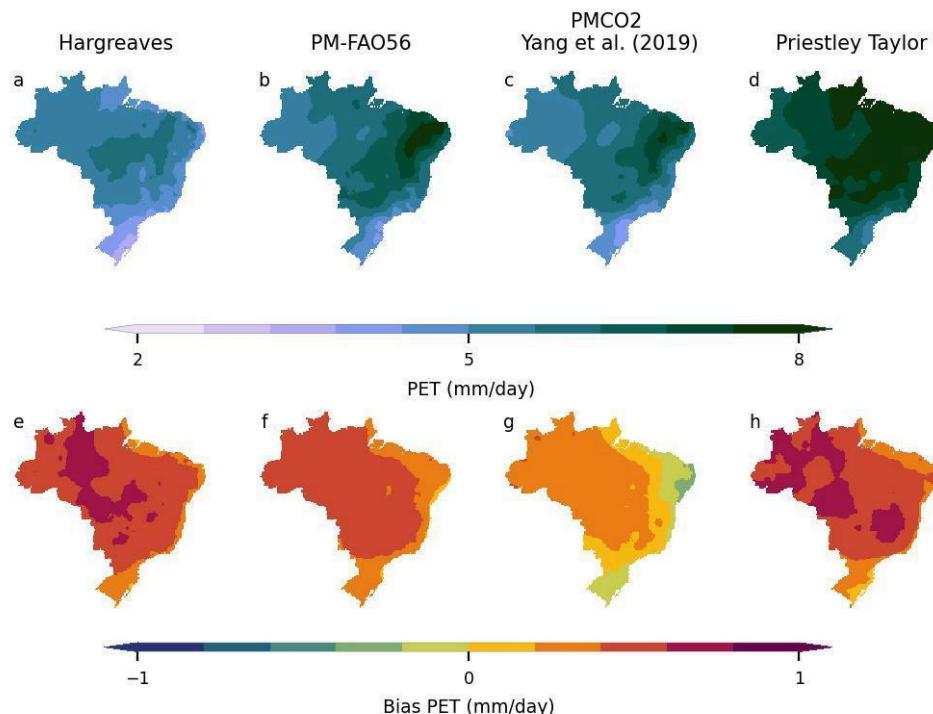
Para avaliar as diferenças entre as trajetórias futuras de *PET* de acordo com as quatro formulações, elaborou-se mapas comparativos da média temporal de *PET* considerando o cenário SSP5-8.5 e o futuro distante (2070-2100; Figura 2). Além disso, também foram determinadas as diferenças entre as simulações realizadas para o período histórico e futuro para cada um dos métodos.

Para a elaboração desses mapas também foi utilizada a técnica de *ensemble*, buscando integrar os diferentes modelos climáticos. Nos painéis de *a* a *d* foram posicionados os mapas com as projeções de *PET* para o futuro distante. Nota-se um padrão semelhante ao observado para o período histórico. Por exemplo, no painel *d*, método de Priestley-Taylor, observa-se valores de *PET* superiores aos demais métodos, ultrapassando 7 mm/dia em grande parte do território brasileiro ($PET_{PT} = 7,25$ mm/dia). Além do mais, assim como observado na Figura 1, o método de Hargreaves resultou nos menores valores de *PET* em grande parte do território nacional ($PET_{Hg} = 5,20$ mm/dia). Por fim, é interessante notar o impacto da correção de CO_2 na estimativa de *PET* (Figura 2*b, c*), resultando, em geral, em valores menores de *PET* ($PET_{PM-FAO} = 6,00$ mm/dia e $PET_{PM-CO_2} = 5,70$ mm/dia).

Nos painéis de *e* a *h* estão apresentados os mapas com a diferença entre as projeções futura e histórica de *PET*. Assim, pode-se observar onde haverá aumento mais significativo dos valores de *PET* e, portanto, onde devem ser concentradas as estratégias para gestão de recursos hídricos nas situações mais críticas.

De maneira geral, verifica-se um aumento nos valores *PET*, principalmente, nas regiões Centro-Oeste e Norte. Este aumento é mais significativo para os métodos de Hargreaves e Priestley-Taylor, painéis *e* e *h*, respectivamente. Já para o método de Penman-Monteith com ajuste para CO_2 , painel *g*, percebe-se um aumento moderado dos valores de *PET* para as regiões Centro-Oeste e Norte, enquanto para a região Sul e para parte da região Nordeste, ocorre uma diminuição moderada dos valores de *PET*, destacando os efeitos da concentração de CO_2 na estimativa de *PET*, conforme descrito por diversos autores (e.g., Yang et al. 2019).

Figura 2 – (a-d) Mapas especializados da média de longo-termo de *PET* diária para o futuro distante (2070-2100) considerando o cenário SSP5-8.5 e os métodos de Hargreaves, Penman-Monteith FAO56, Penman-Monteith com ajuste para CO_2 e Priestley-Taylor; (e-h) Diferença (*bias*) entre as projeções futura (SSP5-8.5; 2070-2100) e histórica para os mesmos métodos.



4. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou a construção de uma base de dados nacional de evapotranspiração potencial (*PET*) para o Brasil, utilizando simulações climáticas corrigidas por viés e aplicando quatro métodos distintos de estimativa. A adoção de múltiplas formulações — incluindo métodos mais complexos, como Penman-Monteith com ajuste para CO_2 , e abordagens mais simplificadas, como Hargreaves — permitiu uma avaliação das incertezas e sensibilidades associadas às projeções de *PET* em diferentes cenários climáticos.

Os resultados indicaram uma tendência generalizada de aumento da *PET* nas próximas décadas, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Norte do país, sob o cenário SSP5-8.5, caracterizado por altas emissões de gases de efeito estufa e ausência de políticas de mitigação. Esse aumento, contudo, apresentou magnitude variável conforme o método empregado, ressaltando a importância de considerar diferentes abordagens para melhor capturar as incertezas envolvidas. Destaca-se também que métodos que incorporam efeitos fisiológicos, como a resposta das plantas ao aumento do CO_2 atmosférico, podem moderar as projeções.

A base de dados que será desenvolvida e estruturada segundo os princípios FAIR, representa um avanço significativo para a ciência climática e a gestão de recursos hídricos no Brasil, promovendo a transparência, acessibilidade e reprodutibilidade das informações. Espera-se que este produto contribua de forma decisiva para subsidiar estratégias de adaptação e mitigação frente às

mudanças climáticas, além de apoiar políticas públicas voltadas para a segurança hídrica, agrícola e ambiental.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro (Processos 2025/00248-0, 2024/13670-9 e 2023/18011-0).

REFERÊNCIAS

- ALMAGRO, A. et al. (2021). “*CABra: a novel large-sample dataset for Brazilian catchments*”. *Hydrology and Earth System Sciences*, [s. l.], p. 1–40.
- ANSARI, R. et al. (2023). “*Evaluation of bias correction methods for a multivariate drought index: case study of the Upper Jhelum Basin*”. *Geoscientific Model Development*, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 2055–2076.
- BALLARIN, A. S. et al. (2023a). “*Brazilian Water Security Threatened by Climate Change and Human Behavior*”. *Water Resources Research*, [s. l.], v. 59, p. e2023WR034914.
- BALLARIN, A. S. et al. (2023b). “*CLIMBra - Climate Change Dataset for Brazil*”. *Scientific Data*, [s. l.], p. 1–31.
- BALLARIN, A. S. et al. (2024). “*Drought intensification in Brazilian catchments: implications for water and land management*”. *Environmental Research Letters*, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 054030.
- CANNON, A. J.; SOBIE, S. R.; MURDOCK, T. Q. (2015). “*Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes?*”. *Journal of Climate*, [s. l.], v. 28, n. 17, p. 6938–6959.
- DAI, A. (2013). “*Increasing drought under global warming in observations and models*”. *Nature Climate Change*, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 52–58.
- FU, Q.; FENG, S. (2014). “*Responses of terrestrial aridity to global warming*”. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, [s. l.], v. 119, n. 13, p. 7863–7875.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1985). “*Reference Crop Evapotranspiration from Temperature*”. *Applied Engineering in Agriculture*, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 96–99.
- LEMAITRE-BASSET, T. et al. (2022). “*Unraveling the contribution of potential evaporation formulation to uncertainty under climate change*”. *Hydrology and Earth System Sciences*, [s. l.], v. 26, n. 8, p. 2147–2159.
- LEMAITRE-BASSET, T.; OUDIN, L.; THIREL, G. (2022). “*Evapotranspiration in hydrological models under rising CO₂: a jump into the unknown*”. *Climatic Change*, [s. l.], v. 172, n. 3–4, p. 1–19.
- MELTON, F. S. et al. (2022). “*OpenET: Filling a Critical Data Gap in Water Management for the Western United States*”. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 58, n. 6, p. 971–994.
- MILLY, P. C. D.; DUNNE, K. A. (2016). “*Potential evapotranspiration and continental drying*”. *Nature Climate Change*, [s. l.], v. 6, n. 10, p. 946–949.

PANDEY, P. K.; NYORI, T.; PANDEY, V. (2017). “*Estimation of reference evapotranspiration using data driven techniques under limited data conditions*”. Modeling Earth Systems and Environment, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 1449–1461.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. (1972). “*On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters*”. Monthly Weather Review, [s. l.], v. 100, n. 2, p. 81–92.

SINGER, M. B. et al. (2021). “*Hourly potential evapotranspiration at 0.1° resolution for the global land surface from 1981-present*”. Scientific Data, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 224.

SUN, S. et al. (2023). “*A global 5 km monthly potential evapotranspiration dataset (1982–2015) estimated by the Shuttleworth–Wallace model*”. Earth System Science Data, [s. l.], v. 15, n. 11, p. 4849–4876.

TRANCOSO, R. et al. (2024). “*Significantly wetter or drier future conditions for one to two thirds of the world’s population*”. Nature Communications, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 483.

VICENTE-SERRANO, Sergio M. et al. Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. Environmental Research Letters, [s. l.], v. 9, n. 4, 2014.

VICENTE-SERRANO, S. M. et al. (2022). “*Global drought trends and future projections*”. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, [s. l.], v. 380, n. 2238.

VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. (2010). “*A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*”. Journal of Climate, [s. l.], v. 23, n. 7, p. 1696–1718.

VREMEC, M.; COLLENTEUR, R. A.; BIRK, S. (2024). “*PyEt v1.3.1: a Python package for the estimation of potential evapotranspiration*”. Geoscientific Model Development, [s. l.], v. 17, n. 18, p. 7083–7103.

WANG, K.; DICKINSON, R. E. (2012). “*A review of global terrestrial evapotranspiration: Observation, modeling, climatology, and climatic variability*”. Reviews of Geophysics, [s. l.], v. 50, n. 2, p. 2011RG000373.

WILKINSON, M. D. et al. (2016). “*The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship*”. Scientific Data, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 160018.

YANG, Y. et al. (2019). “*Hydrologic implications of vegetation response to elevated CO₂ in climate projections*”. Nature Climate Change, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 44–48.

ZOMER, R. J.; XU, J.; TRABUCCO, A. (2022). “*Version 3 of the Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database*”. Scientific Data, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 409.