

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ATUALIZAÇÃO DA ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO SERIAL (2003-2024) NA BACIA DA REPRESA DO BROA, SP

Matheus Cavalcante Capistrano¹; André Simões Ballarin¹; Edson Cezar Wendland¹; Eduardo Paes

de Barros¹; Emmanuel Lungas da Costa Arsénio^{1,2}; Henrique Mattioli¹; Jamil Alexandre Ayach

Anache¹; José André da Silva³; Milena Rosa de Sousa¹ & Eduardo Mario Mendiondo¹

Abstract: This study presents an updated water balance analysis for the Broa Reservoir Basin, located between the municipalities of Itirapina and Brotas, São Paulo, Brazil. The assessment extends the historical dataset from 1980 to 2023, incorporating recent observations (2003–2024) to evaluate long-term hydrological trends under changing climatic and land-use conditions. The methodology is based on the mass conservation principle, integrating key components of the hydrological cycle such as precipitation, potential and actual evapotranspiration, surface runoff, and soil water storage. Meteorological data were sourced from the Climatological Station at the Center for Water Resources and Applied Ecology (CRHEA), University of São Paulo (USP). Potential evapotranspiration was estimated using the Penman combination method, while albedo values were derived from Landsat7 satellite imagery. Results indicate no significant variation in average annual precipitation or evapotranspiration between the periods 1980–2002 and 2003–2023. However, a statistically significant increasing trend in mean air temperature was identified through the Mann-Kendall test, consistent with global warming patterns reported by the Copernicus Climate Change Service. Hydrological imbalances, including both water deficits and surpluses, were observed throughout the time series, reflecting the influence of climate variability on regional water availability. The findings highlight the importance of continuous and reliable hydrometeorological monitoring for sustainable water resources management. Additionally, the study recommends the integration of remote sensing techniques and high-resolution land-cover data to improve future water balance estimations, particularly in basins undergoing land-use changes and climate stressors.

Resumo: Este trabalho apresenta uma atualização da análise do balanço hídrico na Bacia da Represa do Broa, localizada entre os municípios de Itirapina e Brotas, no estado de São Paulo, abrangendo o período de 2003 a 2024. A metodologia utilizada baseia-se no princípio da conservação de massa, considerando os componentes do ciclo hidrológico, como precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e armazenamento. Os dados foram coletados na Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), vinculado à Universidade de São Paulo (USP). O método combinado de Penman foi utilizado para estimar a

¹) Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 13556-590

²) Centro Nacional de Investigação Científica -CNIC, Ministério do Ensino Superior, Ciência Tecnologia e Inovação da Republica de Angola

³) Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Itirapina-SP21,13450-000

evapotranspiração potencial e real, enquanto o albedo foi calculado com base em imagens Landsat 7. Os resultados mostram que não há grandes variações significativas nos valores médios de precipitação e evapotranspiração ao longo dos períodos analisados (1980–2002 e 2003–2023), exceto por um aumento estatisticamente significativo na temperatura média, conforme indicado pelo teste de Mann-Kendall. Além disso, foram observados déficits e excessos hídricos ao longo da série histórica, evidenciando a variabilidade climática e sua influência sobre a disponibilidade de água na região. O estudo reforça a importância de dados contínuos e confiáveis para a gestão sustentável dos recursos hídricos e sugere melhorias futuras, como o uso de técnicas de sensoriamento remoto para maior precisão nas estimativas do balanço hídrico.

Palavras-chave: Balanço hídrico; Mudanças climáticas; Represa do Broa

1 INTRODUÇÃO

A água, elemento essencial à manutenção da vida, tem sido objeto de estudo ao longo do tempo sob diferentes perspectivas, seja como recurso natural, habitat de organismos ou como componente central do ciclo hidrológico que mantém o equilíbrio terrestre. Para o melhor entendimento do comportamento de sistemas, como bacias hidrográficas, utiliza-se o balanço hídrico, que avalia as entradas e saídas de água em determinada região (Collischonn e Dornelles, 2013). Esse balanço considera os princípios de continuidade de massa e troca de energia nos sistemas ao longo do tempo e no espaço, sendo uma ferramenta fundamental para compreender, utilizar e conservar os recursos hídricos (Tucci, 2007).

Porém, no contexto atual de intensas intervenções humanas no meio, que resultam em modificações no uso e ocupação do solo, somadas às alterações nos padrões climáticos, têm-se observado mudanças significativas nos regimes hidrológicos. As principais alterações incluem o aumento da evaporação e evapotranspiração (indicando um ciclo mais acelerado) e aumentar a variabilidade da precipitação, com secas e chuvas extremas mais frequentes (Kundzewicz, 2008). Em relação à temperatura, observa-se um aumento médio de 0,74°C no último século e projeções de aquecimento de 0,2°C por década nas próximas duas décadas (Kundzewicz, 2008). No Brasil, mais especificamente na região do Cerrado no Sudeste, as projeções indicam alterações no ciclo hidrológico e no balanço hídrico, com destaque para aumento na variabilidade das vazões e intensificação de eventos extremos, como secas e cheias. Especificamente, há uma tendência de redução na disponibilidade de água devido ao aumento da evapotranspiração e à possível diminuição das precipitações em certos períodos (Neto *et al.*, 2016).

Já em relação às mudanças no uso e ocupação do solo e seus impactos no balanço hídrico, foi observado que, no Cerrado, a conversão de vegetação nativa em terras agrícolas reduz significativamente a quantidade de água reciclada para a atmosfera por meio da evapotranspiração (ET) (Spera *et al.*, 2016). Segundo Spera *et al.* (2016) para cada 1.000.000 hectares de Cerrado convertidos em terras agrícolas, ocorre uma redução de aproximadamente 1,7 km³ na ET durante a estação seca, o que resulta em maior volume de água deixando o sistema por escoamento superficial e fluxo subterrâneo. Além disso, a substituição de áreas naturais por superfícies urbanizadas diminui a capacidade de infiltração no solo, promovendo o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, a redução da recarga dos aquíferos (Chagas *et al.*, 2022; Nugroho *et al.*, 2013). Outro fator relevante é que a poluição atmosférica proveniente de centros urbanos e atividades

industriais pode dificultar a formação de precipitação, agravando ainda mais o desequilíbrio hídrico regional (Lohmann, 2005).

O presente trabalho é uma atualização do balanço hídrico da Bacia da Represa do Broa, cuja primeira análise foi realizada para o período de 1972-2002 (Soares *et al.*, 2003). A área de estudo está localizada entre os municípios de Brotas e Itirapina (SP), e abrange os Ribeirões do Lobo e Itaqueri e os córregos do Geraldo e das Perdizes (Michette, 2015). Dentro da bacia está situado o Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), o terceiro campus da Universidade de São Paulo (USP) na região, que conta com uma Estação Climatológica em operação, fonte dos dados utilizados neste estudo e no anterior. A bacia apresenta múltiplos usos da terra, incluindo áreas residenciais, um campus universitário, a Represa do Broa, construída em 1936 para geração de energia elétrica, e extensas áreas de cultivo agrícola. Essa diversidade de usos torna a bacia uma área relevante, pois concentra diferentes pressões sobre os recursos hídricos, como expansão urbana, agricultura e reservatórios artificiais, além de estar inserida em uma zona de recarga do Aquífero Guarani (Cunha, 2003; Soares *et al.*, 2003).

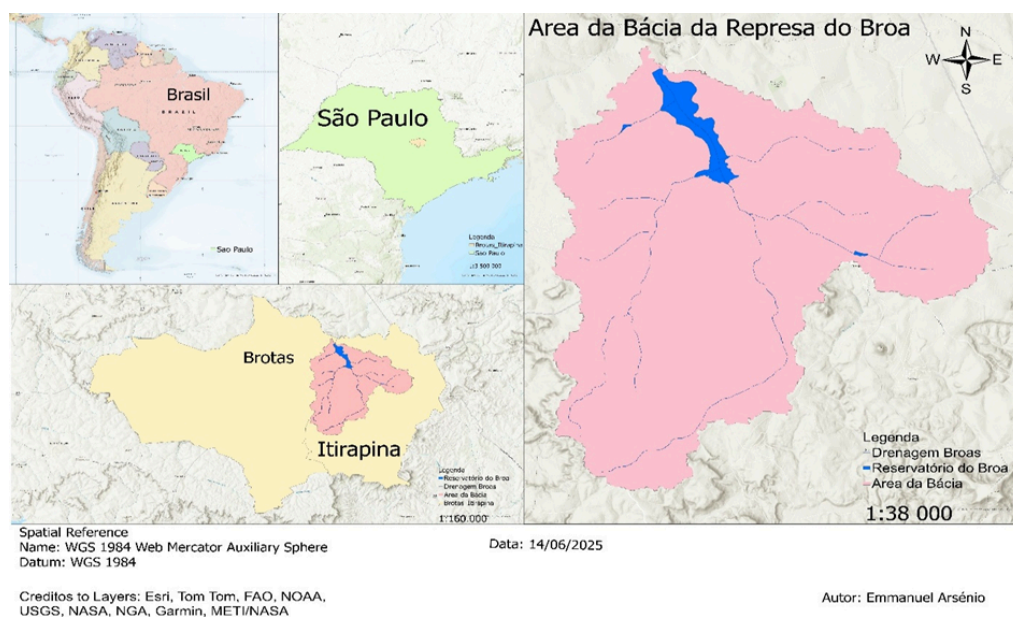
A complexidade de interações entre os usos do solo e a dinâmica hídrica pode tornar a bacia especialmente vulnerável a alterações no balanço hídrico. Ao estender a série histórica até o ano de 2024, esta pesquisa permite comparar diferentes períodos e avaliar as alterações no ciclo hidrológico ao longo de aproximadamente cinquenta anos. Essa atualização é relevante para a gestão sustentável da bacia, especialmente diante da maior variabilidade climática observada nas últimas décadas.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica da represa do Broa, localiza-se na região do estado de São Paulo, entre os municípios de Itirapina e Brotas com uma área de aproximadamente 122,714 km² dentro do sistema hidrográfico do rio Tietê e outras áreas adjacentes (Figura 1), contribuindo significativamente para o regime hídrico regional (ANA, 2020).

Figura 1 – Mapas de localização da bacia da Represa do Broa



Quanto a topografia o relevo da bacia apresenta uma topografia variada, composta por planícies aluviais, colinas suaves e áreas de maior declividade nas proximidades das bordas. As elevações mais significativas estão concentradas na porção sul da bacia, enquanto a parte norte é marcada por terrenos mais planos, favorecendo a agricultura e a urbanização (IBGE, 2018)

O clima predominante na região é o tropical úmido com inverno seco (classificação Cwa segundo Köppen), (Köppen, 1918). Os solos predominantes na região são os Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, típicos de áreas tropicais. Esses solos possuem baixa fertilidade natural, alta saturação de alumínio e baixa retenção de nutrientes, exigindo manejo adequado para evitar erosão e degradação ambiental. (EMBRAPA, 2017) A cobertura vegetal original era composta por Cerrado, mas grande parte foi substituída por atividades agrícolas, pastagens e áreas urbanas. Hoje, observa-se um processo de fragmentação da vegetação nativa, com poucas áreas contínuas de preservação, comprometendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Michette, 2015).

2.2 Balanço hídrico

O estudo adota como base metodológica o balanço hídrico, fundamentado no princípio da conservação de massa aplicado a uma unidade de controle que abrange a superfície e o perfil do solo. O foco está na quantificação de precipitação, evaporação, evapotranspiração, escoamento e armazenamento hídrico no solo. Essa metodologia foi utilizada por Soares *et al.* (2003) na Bacia da Represa do Broa, em São Paulo, e permite aplicação em diferentes escalas, conforme mostrado também por Mendiondo e Kirchheim (2000) e Almeida Neto *et al.* (2004). Para o caso do volume de controle ser uma bacia hidrográfica ou um sistema hídrico particular, a equação hidrológica fundamental é expressa por (Righetto, 1998) (Equação 1):

$$Q_e - Q_s = V(t) \quad (1)$$

onde: Q_e a vazão de entrada, Q_s a vazão de saída e V o volume armazenado na bacia ou no sistema hídrico.

Para um intervalo de tempo Δt a equação do balanço hídrico pode ser escrita da seguinte forma (Equação 2):

$$\Delta V_p = \Delta V_s + \Delta V_Q + \Delta V_I + \Delta V_E \quad (2)$$

sendo ΔV_p o volume precipitado, ΔV_s o volume armazenado na superfície, ΔV_Q o volume escoado superficialmente, ΔV_I o volume infiltrado e ΔV_E o volume evaporado.

Para um volume de controle subsuperficial, o balanço hídrico pode ser expresso por (Equação 3):

$$\Delta V_I = \Delta V_{SOLO} + \Delta V_G + \Delta V_{ET} \quad (3)$$

em que ΔV_{SOLO} é o volume de água armazenado no solo, ΔV_G , o volume percolado e ΔV_{ET} , o volume evapotranspirado.

Portanto, para um volume de controle que adiciona a superfície e o perfil do solo, obtém-se a seguinte equação para o balanço hídrico (Equação 4).

$$\Delta V_p = \Delta V_s + \Delta V_{SOLO} + \Delta V_Q + \Delta V_G + \Delta V_E + \Delta V_{ET} \quad (4)$$

A estimativa dos termos exige dados empíricos ou modelos matemáticos, que podem ser empíricos ou determinísticos, com ou sem componentes probabilísticos. No presente estudo, conforme a simplificação adotada por Soares *et al.* (2003), o solo é modelado como um reservatório com capacidade de 100 mm de água disponível, valor que representa uma profundidade radicular representativa à vegetação local e viabiliza a comparação entre períodos da série histórica.

2.2.1 Precipitação

A precipitação foi considerada a principal fonte de aporte hídrico ao sistema, sendo tratada exclusivamente como chuva líquida. Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos na mesma estação meteorológica vinculada ao CRHEA-USP, com registros diários consolidados em séries mensais.

2.2.2 Evaporação

No presente trabalho, o Método Combinado (Penman, 1956) foi utilizado para a realização dos cálculos da evaporação da bacia hidrográfica de estudo para o período de 2003 a 2024. Esse método, além de abranger diferentes variáveis meteorológicas, oferecendo uma estimativa mais precisa e abrangente do processo evaporativo (Allen *et al.*, 1998), foi o mesmo adotado por Soares *et al.* (2003) para os cálculos referentes à série climática dos anos de 1973 a 2002 o que permite comparar os resultados.

Para a aplicação do Método Combinado foram utilizados os dados meteorológicos da estação climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA). Os dados utilizados incluem: radiação solar incidente na superfície terrestre [$\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{dia})$], duração da insolação (horas), velocidade do vento a 2 metros de altura (m/s), pressão atmosférica (mb), umidade relativa do ar (%), temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperaturas mínima e máxima da água ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação diária (mm). No método empregado, a formulação utilizada para calcular a taxa de evaporação E em uma área de 1 m^2 de superfície livre de água é representada pela Equação 5.

$$E(\text{m/s}) = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot E_R + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot E_A \quad (5)$$

Onde E_R representa a taxa de evaporação devido à radiação, E_A corresponde à taxa de evaporação de origem aerodinâmica, Δ é o gradiente da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{Pa}/^{\circ}\text{C}$) e γ é a constante psicrométrica ($\text{Pa}/^{\circ}\text{C}$).

2.2.2.1 Estimativa da radiação incidente

Para o cálculo do albedo (medida da refletividade da superfície terrestre) que envolve a combinação de reflectâncias medidas em diferentes bandas espectrais, foram adquiridas 3 imagens

de satélite (LANDSAT 7), entre os anos de 2003, 2012 e 2024 respectivamente, cortesia da USGS. Segundo Liang (2001) o cálculo do albedo para imagens do Landsat 7, obedece a alguns parâmetros, tais como a correção das reflectâncias nas bandas (B1, B3, B4, B5 e B7), utilizando a Equação 6.

$$\text{Reflectância TOA} = DN * DN + ADD \quad (6)$$

Onde DN representa o valor digital do raster, $MULT$ o coeficiente angular com o valor de $2,75 \times 10^{-5}$ e ADD o intercepto com o valor de $-0,2$. Posterior a correção da reflectância de todas bandas, aplica-se a equação do cálculo do albedo (Equação 7).

$$\text{Albedo} = 0.356 * B1 + 0.130 * B3 + 0.373 * B4 + 0.085 * B5 + 0.02 * B7 - 0.018 \quad (7)$$

Comparando o Albedo de 2003 e o albedo de 2012, nota-se que não houve mudanças muito significativas entre ambos, por outro lado, depois de analisar detalhadamente as imagens do albedo de 2012 e a de 2024 pode-se observar uma ligeira alteração e após análise detalhada houve variação na refletância entre ambos na ordem dos 11%. Por esse motivo foi decidido manter os mesmos valores apresentados por Soares *et al.* (2013).

2.2.3 Evapotranspiração

Transpiração é o nome dado ao processo de evaporação da água absorvida pelas plantas e posteriormente liberada por meio de seus processos biológicos (Lencastre, 1992), ou seja, trata-se da transferência de vapor de água das plantas para a atmosfera. A evapotranspiração corresponde à combinação dos processos de evaporação e transpiração. Representa, portanto, a perda total de água que ocorreria em um solo com suprimento hídrico ideal para atender plenamente às necessidades da vegetação (Thornthwaite, 1948).

A evapotranspiração potencial (ETp) corresponde à quantidade de água que seria transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração em uma superfície padrão, coberta por gramínea e sem restrições hídricas. Já a evapotranspiração real (ETr) refere-se à perda efetiva de água de uma superfície natural, considerando as condições reais de umidade do solo e cobertura vegetal. (Camargo e Camargo, 2000).

Assim como no cálculo da evaporação, também foi utilizado o Método Combinado (Penman, 1956) para o cálculo da evapotranspiração potencial. Para a aplicação desse método, foi utilizada a Equação 8.

$$ETp(mm/dia) = \frac{\Delta}{\Delta + \epsilon^*} \cdot (R_N - G) \frac{1}{l_v} + \frac{\epsilon}{\Delta + \epsilon^*} \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e - e_s) \quad (8)$$

Sendo ϵ a constante psicrométrica ($kPa/^\circ C$) e ϵ^* a constante psicrométrica modificada ($kPa/^\circ C$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados disponíveis, foram estimadas as taxas de evaporação líquida e evapotranspiração potencial pelo método combinado. Esses resultados permitiram realizar a

extensão do cálculo do balanço hídrico da Bacia da represa do Broa, unificando a série temporal original (1980–2002) com os dados recentes (2003–2023). O balanço foi calculado a partir das componentes de precipitação e evapotranspiração potencial, ajustada por ponderações relacionadas às diferentes coberturas vegetais da área de estudo.

A Figura 2 exibe os registros mensais de precipitação obtidos no intervalo de janeiro de 1980 a dezembro de 2023. Já a Figura 3 apresenta a evapotranspiração real sobreposta juntamente com a evapotranspiração potencial, estimadas com um armazenamento de 100 mm para todos os anos da série completa. Esse valor foi adotado por ser o mesmo utilizado na análise da série de 1980 a 2002, permitindo uma comparação mais consistente entre os dois períodos.

Figura 2 – Precipitação para a bacia da represa do Broa entre 1980 a 2023.

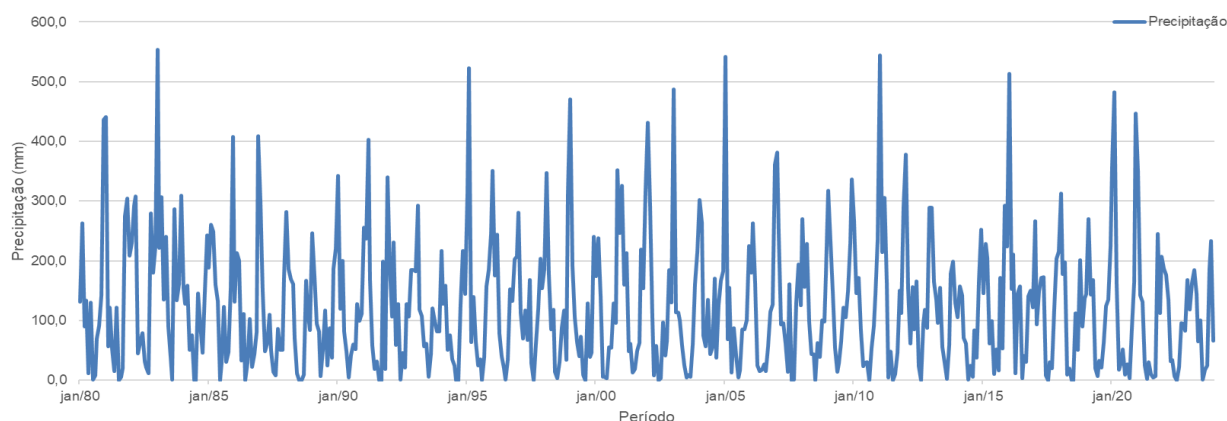
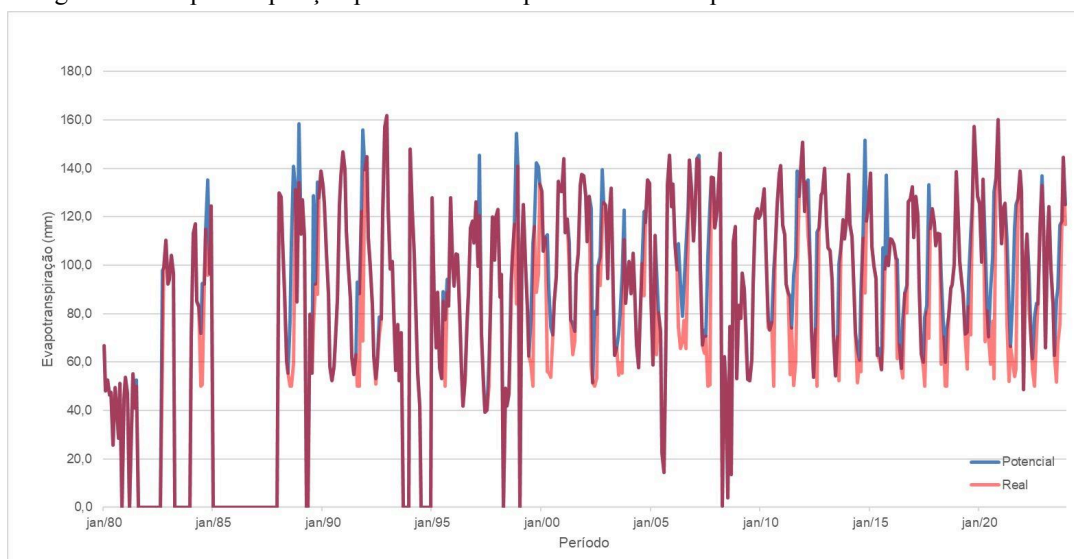


Figura 3 – Evapotranspiração potencial e real para a bacia da represa do Broa entre 1980 a 2023.



Ao se analisar a Figura 3, percebe-se que em vários momentos a evapotranspiração real e potencial coincidem, isso significa que, nesses momentos, o sistema tem água disponível em quantidade suficiente para atender à demanda atmosférica por evaporação e transpiração. Os

períodos em que os valores aparecem como nulos indicam a ausência de dados para alguma das variáveis analisadas naquele ano. Por isso, optou-se por excluir esses anos da análise.

Também é importante avaliar os períodos de déficit e excesso hídrico ao longo da série histórica, pois esses indicadores ajudam a compreender a dinâmica entre a oferta e a demanda atmosférica por água. Esses resultados refletem a variação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial ao longo da série, evidenciando anos com maior disponibilidade de água no solo, bem como períodos em que a demanda atmosférica superou o fornecimento hídrico. As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, as estimativas de deficiência e excesso de água ao longo da série. Para facilitar a interpretação da tendência e da variação temporal, foram incluídas médias móveis de 12 meses, destacadas em vermelho.

Figura 4 – Déficit de água estimado no balanço hídrico para bacia da represa do Broa entre 1980 e 2023.

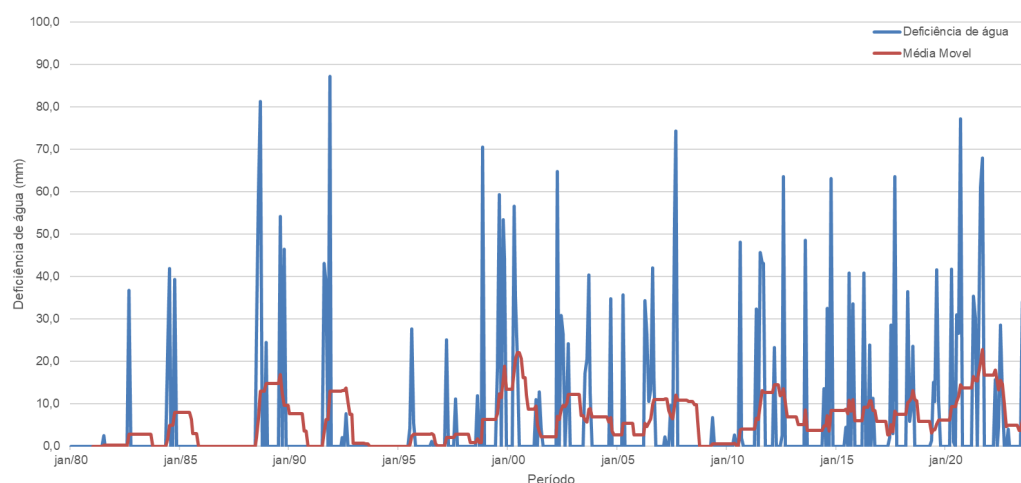
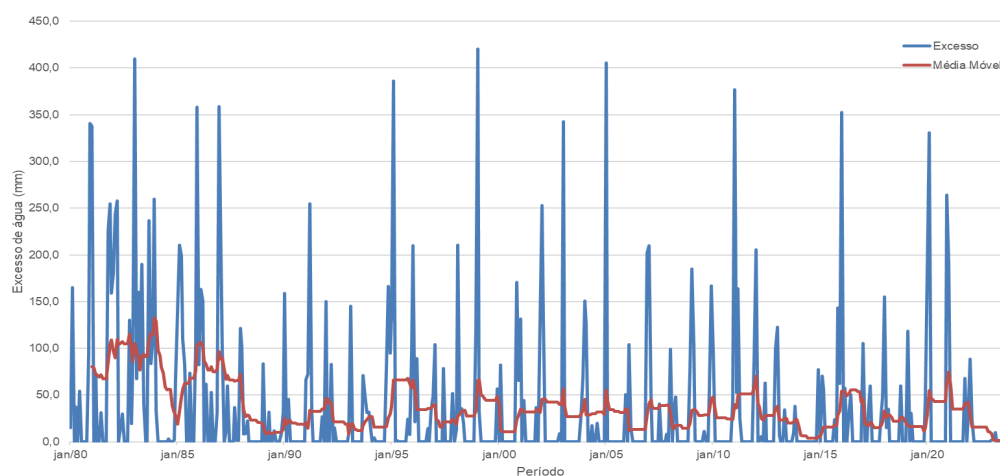


Figura 5 – Excesso de água estimado no balanço hídrico para bacia da represa do Broa entre 1980 e 2023.



Comparando os resultados dos dois blocos de estudo, o primeiro compreendendo o período de 1980 a 2002, e o segundo de 2003 a 2023, apresentam-se os gráficos de comparação conforme ilustrado nas Figuras de 6 a 8.

Figura 6 – Valores de Temperatura e média dos períodos do Broa entre 1980 a 2023.

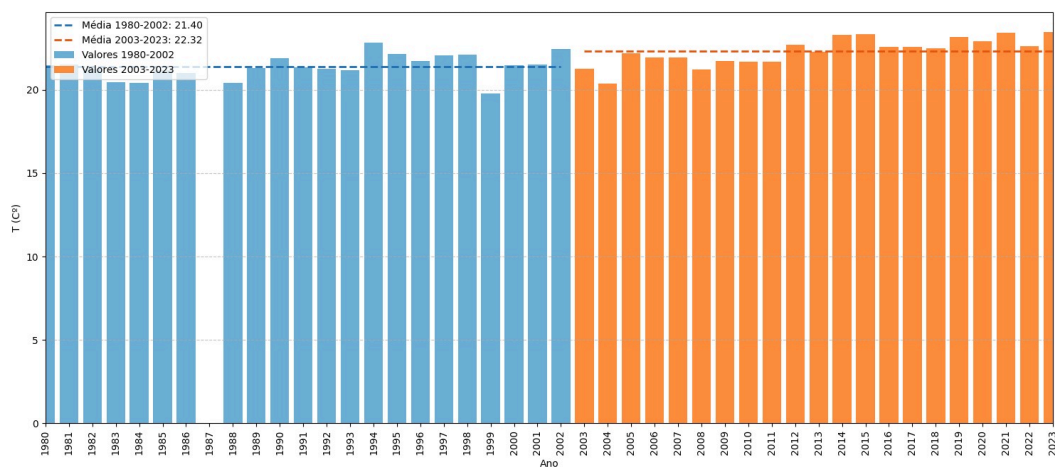


Figura 7 – Valores de ETP Anual e média dos períodos do Broa entre 1980 a 2023.

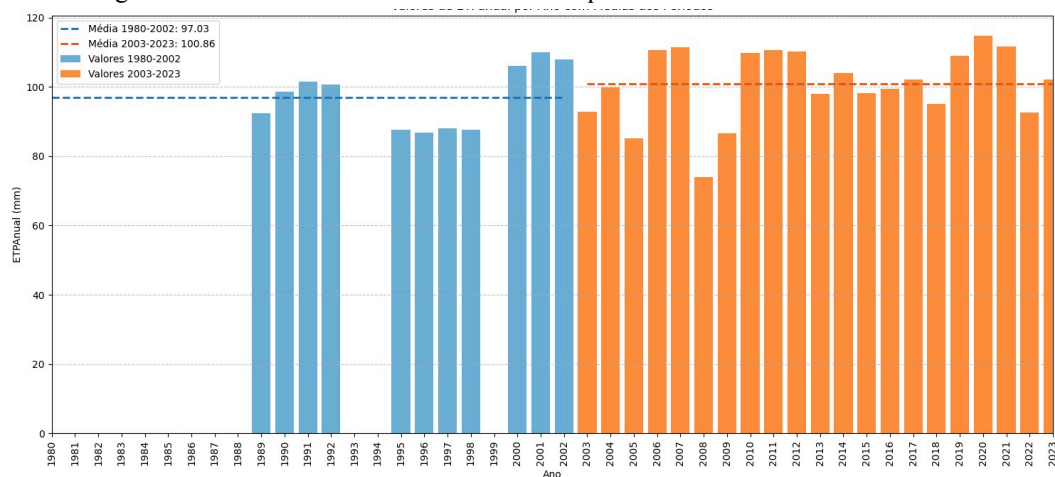
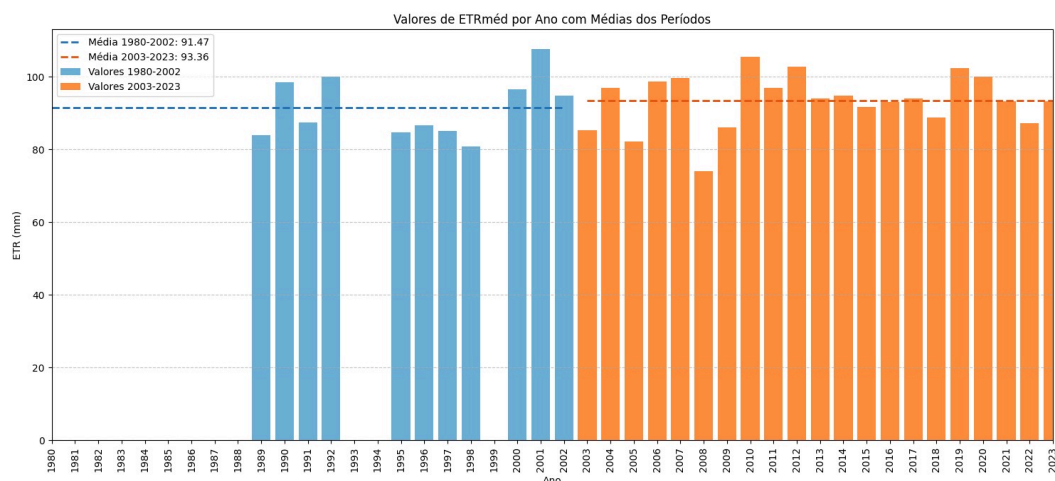
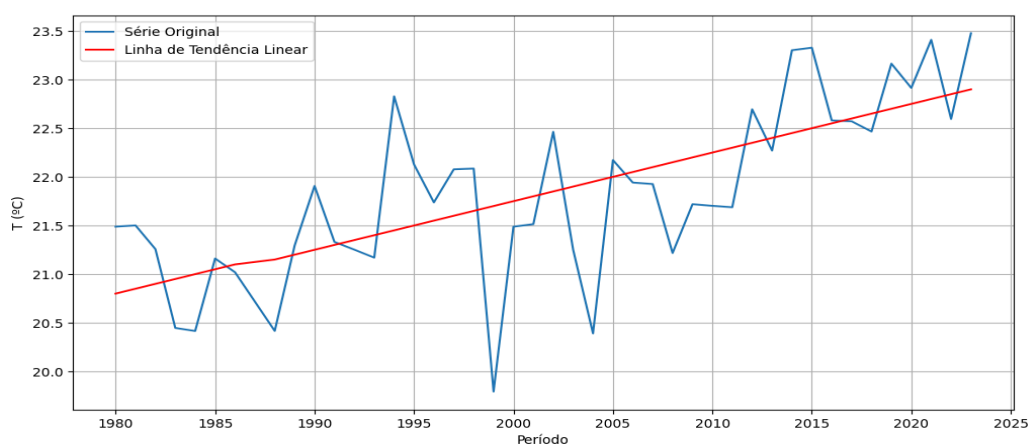


Figura 8 – Valores de ETR Anual e média dos períodos do Broa entre 1980 a 2023.



A análise dos gráficos revela que praticamente não há variações significativas entre os dois períodos, com exceção da variável temperatura média (Figura 6). Vale ressaltar que, nas Figuras 6 a 8, os anos marcados com valor zero no gráfico indicam ausência de dados de alguma variável de medição. Para confirmar a tendência de aumento na temperatura, aplicou-se o teste de Mann-Kendall com um nível de significância de 95%, a fim de verificar se o crescimento observado é estatisticamente significativo. Os resultados encontram-se na Figura 9.

Figura 9 – Teste de Mann-Kendall para temperatura de 1980 a 2023.



Conforme representado, o teste indica uma tendência estatisticamente significativa de aumento da temperatura ao longo do período analisado. Tal comportamento está alinhado com os dados globais apresentados pelo Serviço Copernicus para as Alterações Climáticas (C3S), no relatório referente ao ano de 2024, que também confirma o aumento contínuo das temperaturas médias globais.

Os valores de ETP e ETR do balanço hídrico (Figuras 7 e 8) também indicam possíveis alterações, que podem estar associadas tanto ao uso e ocupação do solo quanto aos efeitos das mudanças climáticas. No entanto, essa análise requer cautela, visto que grande parte do primeiro período de estudo (1980 a 2002) apresenta lacunas consideráveis de dados, o que pode comprometer as conclusões. Esse cenário reforça a importância da coleta contínua e confiável de dados meteorológicos e hidrológicos, essencial para a compreensão das dinâmicas climáticas e para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação mais eficazes.

4 CONCLUSÃO

Uma estimativa das componentes do balanço hídrico da Bacia da represa do Broa por meio do método combinado, com a unificação das séries históricas de 1980 a 2023, foi realizada no presente trabalho. A análise considerou dados de precipitação, evaporação líquida e evapotranspiração potencial, além da aplicação de ponderações com base na cobertura vegetal da área de estudo.

O estudo permitiu compreender, com maior profundidade, o comportamento hidrológico da Bacia da represa do Broa ao longo de mais de quatro décadas, revelando padrões e variações relevantes para a gestão dos recursos hídricos da região. A junção das séries temporais proporcionou uma visão mais contínua e integrada, contribuindo para a detecção de tendências,

como o aumento da temperatura média, e para a avaliação de eventuais desequilíbrios entre oferta e demanda hídrica.

A análise também reforça o papel central da qualidade dos dados no processo de avaliação ambiental. A presença de lacunas e a necessidade de suposições simplificadoras, como a adoção de uma única capacidade de armazenamento para todo o período, destacam os limites das análises baseadas exclusivamente em dados históricos.

Embora este estudo tenha considerado o albedo das diferentes coberturas da bacia, recomenda-se que trabalhos futuros realizem uma avaliação mais detalhada, com maior resolução espacial e temporal. A incorporação de dados mais específicos, como séries temporais de albedo derivadas de sensoriamento remoto, pode contribuir para uma representação mais precisa do balanço de energia, especialmente em áreas sujeitas a mudanças sazonais ou uso do solo. Esse refinamento pode melhorar significativamente a estimativa dos fluxos evaporativos e, conseqüentemente, do balanço hídrico. Por fim, esta análise de longa duração reforça a necessidade e a importância da aquisição de dados de forma contínua, sistemática e confiável, como base para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto de Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia (PDCT) do Governo de Angola e a Fundação da Universidade de São Paulo (FUSP) - Brasil. Agradecemos também ao financiamento parcial dado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA NETO, P. (2004) *Análise dos componentes do balanço hídrico em uma bacia urbana experimental*. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Goiânia-GO: ABRH.
- ANA – Agência Nacional de Águas (2020). *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Tietê*. Disponível em: <https://www.ana.gov.br>.
- CAMARGO, Â. P. D., & CAMARGO, M. B. P. D.. (2000). *Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial*. *Bragantia*, 59(2), 125–137.
- CAMPANA, N.; TUCCI, C. E. M.; MENDIONDO, E. M. *A multi-source approach to hydrologic estimation in urban basins*. *Water Science and Technology*, v. 32, n. 1, p. 233–240, 1995.
- Chagas, V. B., Chaffe, P. L., & Blöschl, G. (2022). *Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle*. *Nature Communications*, 13(1), 5136.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. (2013). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) .
- Cunha, A. T. (2003). *Estimativa Experimental da Taxa de Recarga na Zona de Afloramento do Aquífero Guarani para a Região de São Carlos - SP*. São Carlos. 117 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2017). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 4ª edição.

- GUIMARÃES, R. C., SHAHIDIAN, S. E RODRIGUES, C. M. (2017). Eds. *Hidrologia Agrícola*, 2ª edição. ECT e ICAAM. Évora. ISBN: 978-989-8550-40-8
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Mapas e Dados Geográficos Oficiais do Brasil*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.
- KÖPPEN, W. (1918). *Classificação Climática*. *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 29, pp. 39–44.
- KUNDZEWICZ, Z. W. (2008). Climate change impacts on the hydrological cycle. *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 8, n. 2-4, p. 195-203.
- LENCASTRE A.; FRANCO F. M. (1992). *Lições de Hidrologia*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- LIANG, S. (2000). *Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms*. *Remote Sensing of Environment*, [S. l.], v. 76, n. 2, p. 213-238. DOI: 10.1016/S0034-4257(00)00205-4.
- LOHMANN, U. (2005). *Impact of aerosols on the hydrological cycle*. *Water and the Environment*, 12, 104-219.
- MENDIONDO, E. M.; KIRCHHEIM, R. E. (2000) *La hidrogeologia urbana y su relación com el balance hídrico de corto plazo*. In: TUCCI, C. E. M. et al. (Org.). *Hidrologia urbana na bacia do Prata*. Porto Alegre: ABRH. p. 61–70.
- MICHETTE, J. F. (2015). *Modelos de previsão de erosão pluvial utilizando SIG: estudo na bacia hidrográfica da Represa do Lobo (Broa), SP*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. doi:10.11606/D.18.2016.tde-29022016-104742. Acesso em: 2025-06-18.
- NETO, A. R.; DA PAZ, A. R.; MARENGO, J. A.; CHOU, S. C. (2016). *Hydrological processes and climate change in hydrographic regions of Brazil*. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(12), 1103-1127.
- NUGROHO, P., MARSONO, D., SUDIRA, P., & SURYATMOJO, H. (2013). *Impact of land-use changes on water balance*. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 256-262.
- PENMAN, H. L. (1956). *Evaporation: an introductory survey*. Netherlands. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, v. 4, p. 9-29.
- SOARES, A. K.; OHNUMA JR, A. A.; BORGES, A. C.; PAGNOSSI, A. A.; ANGELOTTI NETTO, A.; CORRÊA FILHO, C. R. R.; BRITO, C. M. S.; VELA, F. J.; BENINI, G. L. R. M.; MENDIONDO, E. M. (2003). *Análise do balanço hídrico serial na bacia da represa do Broa, SP*. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 15.
- SPERA, S. A., GALFORD, G. L., COE, M. T., MACEDO, M. N., & MUSTARD, J. F. (2016). *Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier*. *Global change biology*.
- RIGHETTO, A. M. (1948) *Hidrologia e Recursos Hídricos*. São Carlos: EdUSP, 1998. 819 p.
- THORNTHWAITE C.W. *An approach toward a rational classification of climate*. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- TUCCI, C. E. M. (2007) . *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.

Link para material suplementar:

https://drive.google.com/drive/folders/1xXEEcEGHrEx6_4PTkSaHFal1t2JnvK7Zr?usp=sharing