



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

## EVAPORAÇÃO NO LAGO DA BARRAGEM DE SOBRADINHO, BA

Mateus Tomé de Sousa<sup>(a)</sup>, Gláuber Pontes Rodrigues<sup>(b)</sup>, José Carlos de Araújo<sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Discente de Graduação de Engenharia Civil, bolsista PIBIC/CNPq, Universidade Federal do Ceará – UFC, [mateustome@alu.ufc.br](mailto:mateustome@alu.ufc.br);

<sup>(b)</sup> Doutorando do Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, [pontesglauber@gmail.com](mailto:pontesglauber@gmail.com);

<sup>(c)</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, [jcaraujo@ufc.br](mailto:jcaraujo@ufc.br).

### Eixo: Dinâmica e gestão de bacias hidrográficas

#### Resumo

Os processos evaporativos são muito intensos na região semiárida, cujo abastecimento depende centralmente de reservatórios superficiais; e cenários de mudança climática traçados por Modelos de Circulação Global apontam para incremento na taxa evaporativa de até 15% até 2100. Entretanto, o conhecimento atual sobre as verdadeiras perdas por evaporação nos reservatórios semiáridos é limitado, baseando-se não em medidas diretas, mas em estações situadas em terra firme, não no interior do lago. Estimou-se a vazão evaporada da Barragem Sobradinho ao longo de 2018, com passos diários, usando dados de três estações climatológicas. Os resultados indicam evaporação média de 9 mm/dia e vazão evaporada média de 224 m<sup>3</sup>/s, quase um terço da vazão liberada pela Barragem. Como em 2018 a barragem estava com nível baixo (30%), a área inundada estava reduzida. Estima-se que quando a barragem estiver cheia, as perdas por evaporação serão, pelo menos, o dobro daquela estimada em 2018.

**Palavras chave:** Balanço hídrico; Reservatório; Semiárido; Hidrologia.

### 1. Introdução

As precipitações médias na região semiárida variam de 550 a 850 mm anuais, índices semelhantes aos observados em áreas temperadas (MERHEB et al., 2016). Todavia, há uma diferença entre as regiões: enquanto em regiões temperadas a evaporação potencial é da mesma ordem de grandeza da precipitação, no semiárido brasileiro, ela pode superar quatro vezes a precipitação (ARAÚJO e PIEDRA, 2009). Portanto, o adequado conhecimento das perdas de água por evaporação, seja em lagos naturais ou artificiais, é de grande relevância para a gestão hídrica e análise de vazão de outorga, entre outras aplicações. Segundo Mcjannet et al. (2017), métodos confiáveis para estimativa da evaporação em lagos baseados em informações climatológicas ainda são um desafio. Os modelos disponíveis são divididos nos que empregam medidas de tanques de evaporação e nos que utilizam equações baseadas em Penman (1948). Contudo, ambas as abordagens carregam em seu bojo elevada carga de incertezas devido à



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

restrita disponibilidade de dados climatológicos e à irregularidade dos processos hidrológicos. O reservatório de Sobradinho, Bahia, possui 320 km de extensão, espelho d'água de 4.214 km<sup>2</sup> e capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de m<sup>3</sup>. O reservatório tem grande importância para o abastecimento hídrico da região e com usina hidrelétrica com potência instalada da ordem de 1 milhão de kW (CORREIA; DIAS, 2003; PEREIRA et al., 2009). Esse estudo teve o intuito de quantificar a evaporação no lago da Barragem Sobradinho em 2018 a passo diário. Esse trabalho compara a vazão evaporada com as vazões afluentes e efluentes do reservatório, bem como a vazão planejada da transposição do rio São Francisco.

## 2. Material e Métodos

Os dados foram coletados de ANA (2019) e de INMET (2019). Os dados obtidos foram: volume e cotas do reservatório, coordenadas geográficas das três estações automáticas mais próximas do reservatório, umidade e temperatura do ar, velocidade do vento, radiação, vazão efluente, vazão afluente e vazão da transposição. Com os dados morfológicos, geraram-se as equações de cota/área/volume. Também foi gerado um gráfico de altura por volume e exibida a curva do gráfico; derivando-a foi encontrada a equação da área do açude. Com ela foi possível associar cada altura (ou volume) ao seu respectivo valor de área do espelho d'água. Com os dados meteorológicos das três estações no entorno do lago (Remanso, Pilão Arcado e Petrolina) foi estimada a evaporação potencial usando o método combinado de Penman (1948) (Equações 1-5). O valor adotado para se calcular a vazão evaporada foi a média dos três valores. A evaporação potencial (E, em mm/dia) é dada pela Equação 1.

$$E = \frac{\frac{\Delta}{\gamma L} R_L + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (1)$$

Em que  $\Delta$  é a tangente à curva de pressão de saturação do vapor;  $\gamma$  o coeficiente psicrométrico (0,49 mm Hg/°C = 0,67 mb/°C); L o calor latente de vaporização (L = 59 cal / cm<sup>2</sup>.mm); R<sub>L</sub> a radiação líquida (em cal/ (cm<sup>2</sup>.dia)) obtida com o radiômetro; E<sub>a</sub> o poder evaporante do ar à



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

sombra; e  $e_s$  a pressão de saturação do vapor (mm Hg), calculada pela Equação 2, em que  $T$  é a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). O termo  $(\Delta/\gamma)$  é dado pela Equação 3. O poder evaporante do ar à sombra ( $E_a$ ) é dado pela Equação 4.

$$e_s = 4,58 \cdot 10^{7,5T/(237,3+T)} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta}{\gamma} = \frac{38640 \cdot 10^{7,5T/(237,3+T)}}{(237,3+T)^2} \quad (3)$$

$$E_a = 0,35 \left( 0,5 + \frac{u}{160} \right) (e_s - e) \quad (4)$$

$$e = \frac{U}{100} e_s \quad (5)$$

Em que  $u$  é a velocidade média do vento (km/dia);  $e_s$  a pressão de saturação do vapor à temperatura da superfície (mm Hg);  $e$  a pressão do vapor do ar (mm Hg);  $(e_s - e)$  o déficit de saturação; e  $U$  a umidade relativa do ar (%). A pressão do vapor do ar (mm Hg) é calculada em função da umidade relativa, Equação 5. A vazão evaporada foi calculada pela Equação 6, em que o  $A$  é a área superficial da lâmina d'água.

$$E \cdot A = V_{ep} \quad (6)$$

### 3. Resultados e discussão

Houve diferença entre os resultados das três estações (Figura 1): evaporação média de 10 mm/dia em Remanso, 9 mm/dia em Pilão Arcado e 8 mm/dia em Petrolina. Isso pode ser atribuído a incertezas nas medidas (BEVEN, 2016) e/ou à variabilidade espacial da evaporação. Para o ano de 2018 (Figura 2), a taxa de evaporação média foi de 8,91 mm/dia e a vazão média evaporada de 224 m<sup>3</sup>/s. Já o volume variou de 14% a 38%, com média de 30% e mediana de 31%. Em trabalho que estimou a evaporação líquida no lago de Sobradinho, Pereira et al. (2009) observaram que a vazão média anual correspondente à evaporação líquida do reservatório foi de 132 m<sup>3</sup>/s, 40% menor que o encontrado nesta pesquisa. Ao avaliar a influência da transposição do rio São Francisco na vazão do reservatório, observa-se que a vazão média



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

efluente foi de  $711 \text{ m}^3/\text{s}$  (ou seja, evaporação = 32% da vazão efluente); a vazão média afluente  $921 \text{ m}^3/\text{s}$  (evaporação = 24% da vazão afluente). Ressalta-se que a vazão evaporada, quase nove vezes a vazão de referência da transposição ( $26 \text{ m}^3/\text{s}$ ), pode ser muito maior em situações nas quais o reservatório esteja mais cheio. Zhang et al. (2017) afirmam que o erro nas estimativas da área do reservatório é largamente negligenciado na análise das incertezas. Destaca-se que a relevância do conhecimento da vazão evaporativa em lagos reside também na possibilidade de seu aproveitamento energético. Recentes investigações demonstram a capacidade de converter energia da evaporação em energia elétrica (XUE et al., 2017) bem como em força motriz para movimento de engrenagens (CHEN et al., 2015). Segundo Cavusoglu et al. (2017), dispositivos podem ser incorporados em motores movidos a evaporação que aproveitam a energia quando colocados acima de um corpo d'água em evaporação.

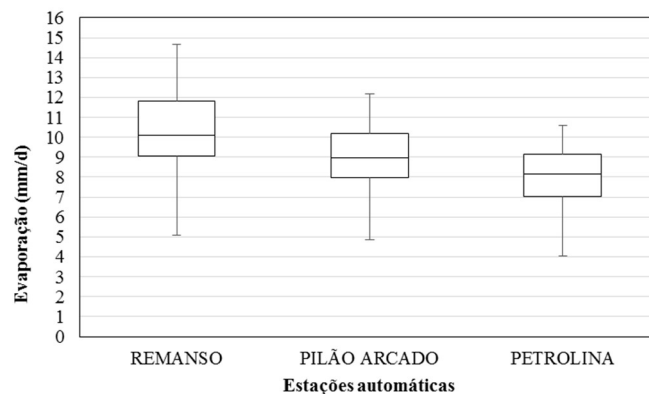
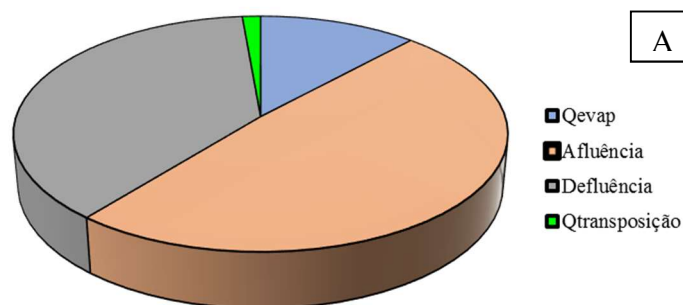


Figura 1 – Box-plot das taxas de evaporação, no ano de 2018, nas três estações climatológicas próximas do lago da Barragem Sobradinho.





XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

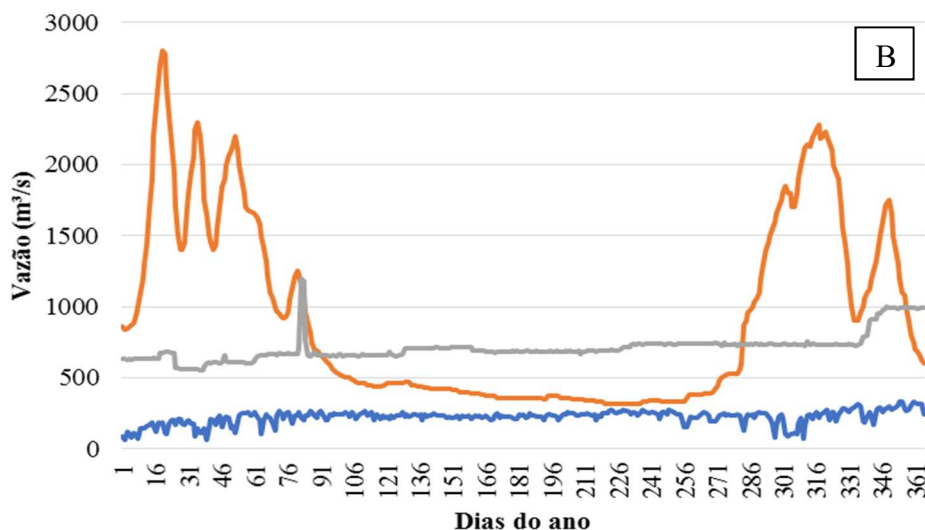


Figura 2 – Vazões afluente (marrom), efluente (cinza) e evaporada (azul) no lago da Barragem Sobradinho no ano de 2018. (A) Valores médios. (B) Distribuição temporal.

#### 4. Considerações finais

Há diferença da evaporação calculada nas três estações que existem no entorno da Barragem Sobradinho. A evaporação média no lago em 2018 foi de 9 mm/dia e a vazão evaporada foi de 224 m<sup>3</sup>/s em média. O reservatório estava bastante seco no período (30%). Estima-se que, quando cheio, deva evaporar pelo menos o dobro. A evaporação em 2018 correspondeu a 1/3 da vazão liberada por Sobradinho, sendo suficiente para abastecer 77 milhões de habitantes. Os dados produzidos foram suficientes para análises que visem a gestão dos recursos hídricos, visto que, para tanto é necessário conhecer-se todos os fenômenos que influenciam no balanço hídrico.

#### Referências Bibliográficas

ARAÚJO, J. C. de; PIEDRA, J. I. G. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 1169–1178, 2009.

BEVEN, K. J. Facets of uncertainty: epistemic uncertainty, nonstationarity, likelihood, hypothesis testing, and communication. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61. n.9, p.1652-1665. 2016.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

CHEN, X. et al. Scaling up nanoscale water-driven energy conversion into evaporation-driven engines and generators. **Nature Communications**. n.7346, 2015.

CORREIA, M. F.; DIAS, M. A. F. S. Variação do nível do reservatório de Sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.157-168, 2003.

MCJANNET, D. et al. Measurements of evaporation from a mine void lake and testing of modelling approaches. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 631–647, 2017.

MERHEB, M. et al. Hydrological response characteristics of Mediterranean catchments at different time scales: a meta-analysis. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 14, p. 2520–2539, 2016.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**, v. 193, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 346-352, 2009.

XUE, G. et al. Water-evaporation-induced electricity with nanostructured carbon materials. **Nature Nanotechnology**. v.12, p.317–321, 2017.