

ESTUDO ISOTÓPICO E GEOMORFOLÓGICO DE SETE RESERVATÓRIOS DA BACIA DO BANABUIÚ-CE

Victória Maria Horácio Jeronimo¹; Mariana Guedes Bezerra²; Francisca Elenilda Ferreira Correia³;
Tamires Ferreira de Souza⁴; Jonathan Alves Rebouças⁵

- 1- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, victoriav130@hotmail.com.
- 2- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, mariananicklipe@hotmail.com.
- 3- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, elennildaferreira@gmail.com.
- 4- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, mylah24@live.com.
- 5- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, jalvesreboucas@gmail.com.

RESUMO

Os pequenos reservatórios ainda são a principal fonte de água do pequeno agricultor. A sensibilidade desses pequenos recursos hídricos as altas taxas de evaporação já é algo bastante conhecido. Porém, estudos que tratam de forma individualizada esses recursos ainda são escassos. Isso se deve a comodidade que estações automáticas trazem ao monitoramento da lâmina evaporada por meio de variáveis meteorológicas. Essa comodidade traz sérias consequências no que tange a gestão desses pequenos recursos, uma vez que não representam as condições geomorfológicas e climáticas nas quais esses reservatórios estão inseridos. Esse trabalho realiza um estudo individualizado de sete reservatórios que se encontram na bacia do Banabuiú-CE. O estudo baseia-se na avaliação das condições geomorfológicas nas quais os açudes estão inseridos e na estimativa da lâmina evaporada para cada um dos sete reservatórios utilizando o método isotópico. Esse método se mostrou indicado para o estudo uma vez que se propõe a individualizar o corpo hídrico por meio de uma assinatura isotópica de sua água. Os resultados indicaram que existem diferenças não desprezíveis nos valores de lâmina evaporada para cada reservatório, que podem chegar até 50%. Além da diferença entre as lâminas evaporadas o estudo mostra que métodos de simplificação usados para a estimativa do volume armazenado em pequenos reservatórios podem superestimá-los, uma vez que foram encontrados reservatórios com capacidade 10 vezes menores, mas com características morfométricas de grandes reservatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Isótopos ambientais, geomorfologia, reservatórios

INTRODUÇÃO

O uso de ferramentas isotópicas e geoquímicas para o estudo do balanço hídrico e balanço de massa de açudes é um grande avanço para o entendimento de como esses corpos hídricos se comportam de forma individualizada.

O cálculo do balanço hídrico de um açude é algo relativamente simples. Porém, devido aos métodos que dispomos atualmente, sejam diretos ou indiretos, muitos erros são incluídos nesse cálculo, já que os métodos indiretos que possuímos dispõem de estações meteorológicas espaçadas de forma pouco densa e muitas vezes não retratam de forma eficiente a realidade climática a qual cada corpo hídrico está sujeito. Já os métodos diretos, como o tanque classe A, muitas vezes incorrem em erro, já que suas paredes metálicas não conseguem representar bem a realidade geomorfológica do reservatório.

O método isotópico para o cálculo da evaporação é um método direto de cálculo, uma vez que utiliza análise da água do próprio açude para o cálculo da lâmina evaporada. Muitos desses métodos utilizam dados de estações meteorológicas enquanto outros utilizam tanques classe A para o cálculo

da lâmina evaporada. Essas metodologias atribuem erros ao método isotópico, já que nem sempre é possível dispor de uma estação meteorológica na beira do açude ou um tanque classe A dentro do mesmo. Todavia, o método isotópico supera esses erros devido a alta precisão das análises isotópicas das águas de cada corpo hídrico. Portanto, mesmo utilizando dados climáticos gerais, o método individualiza o corpo hídrico por meio da assinatura isotópica da água do próprio açude.

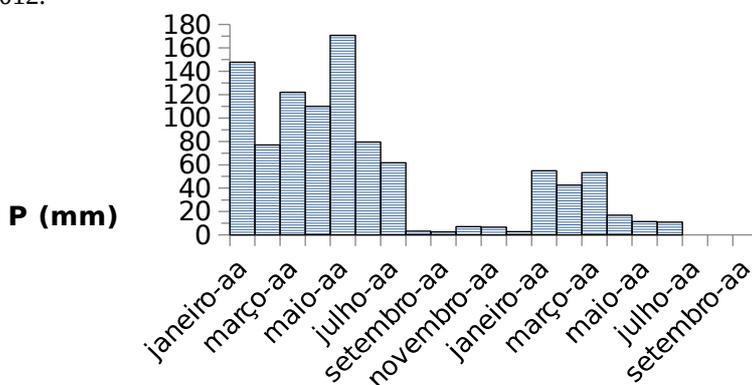
A ferramenta isotópica vem sendo usada de forma cada vez mais intensa em todo o globo e estudos que versam sobre esse tema ganham cada vez mais espaço (BROCK et al., 2009; FEKETE et al., 2006; GIBSON, 2001; HUNT et al., 2005; JONES; IMBERS, 2010; JONSSON et al., 2009; KATTAN, 2008; LONGINELLI et al., 2008; STICHLER et al., 2008; TURNER; WOLFE; EDWARDS, 2010; TURNER; TOWNLEY, 2006; VANDENSCHRICK et al., 2002; YI et al., 2008).

O objetivo deste trabalho é realizar uma estimativa das lâminas evaporadas por meio do uso de métodos isotópicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

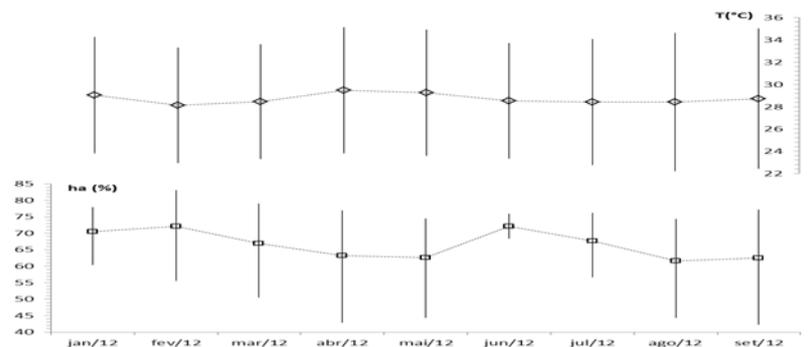
Nesse trabalho utilizou-se a metodologia proposta por DESCONNETS et al.(1997) para entender o balanço hídrico de reservatórios no semiárido cearense. Como a precipitação acumulada no período chuvoso de 2012 (fevereiro a maio) foi de apenas 124 mm, bem inferior à média da região que se encontra na faixa de 400 a 1000 mm (BURTE, 2008), considerou-se o período de coleta de fevereiro à setembro representativo de um período seco prologando (Figura 1). A partir dessa consideração construiu-se a curva $\delta^{18}\text{O}$ versus fração da água remanescente no reservatório, f, admitindo-se como dado inicial o primeiro valor de $\delta^{18}\text{O}$ obtido para o período.

Figura 1 - Média das pluviometrias dos postos da região de Quixeramobim-CE para o período que vai de janeiro de 2011 até setembro de 2012.



As variáveis climáticas umidade relativa do ar e temperatura do ar foram obtidas do sítio eletrônico do INMET(www.inmet.com.br) e representadas por meio de suas médias mensais. A Figura 2 mostra o gráfico com os valores de temperatura média mensal e umidade relativa do ar média mensal para o período que se estende de 01/01/2012 à 30/09/2012. A barra de erros associados aos valores de umidade relativa do ar e temperatura contém como extremos os valores máximos e mínimos das variáveis para o mês. Esses dados são oriundos de uma estação afastada cerca de 35 km do centro da bacia do riacho da Forquilha.

Figura 2 - Valores das médias mensais da umidade relativa do ar (ha) e da temperatura (T) para o período em estudo.



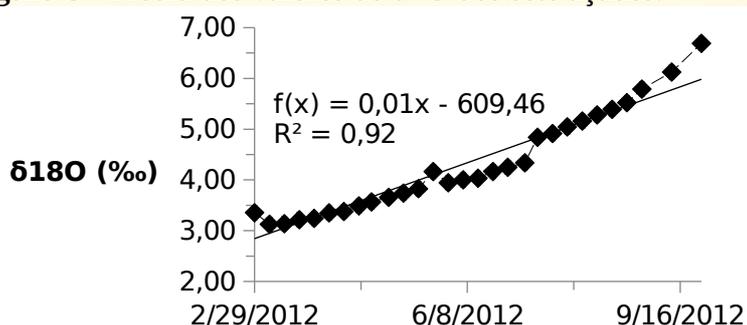
Os dados de umidade relativa do ar mensais sofrem uma fraca variação ao longo do período de estudo, o que justifica o emprego de seus valores médios mensais no cálculo da evaporação pelo método isotópico. O grande intervalo que é mostrado nas barras de erro, é devido as variações diurnas e noturnas. O valor médio de umidade relativa do ar obtida para o período é de aproximadamente 66,58 %. Os valores de temperatura do ar, em uma escala mensal, não sofrem grandes variações, possuindo uma média para o período igual a 28,72 °C.

Os dados de composição isotópica foram obtidos por meio de um espectrômetro de massa que usa um sistema duplo (CO₂ em equilíbrio) para ¹⁸O e fluxo contínuo para deutério (redução com cromo em 1000°C), metodologia essa proposta por EPSTEIN & MAYEDA (1953). As análises foram realizadas por meio de uma parceria entre a Universidade Federal do Ceará (UFC), a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e a Universidade Francesa Montpellier 2. As análises foram feitas no Laboratoire Mutualisé d'Analyse des isotopes stables de l'eau – LAMA. A precisão obtida para as medidas foi de + 0,05 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ para os sete açudes variaram de açude para açude, com desvios em relação a média de 1,10 ‰, Figura 3. Isso é notado principalmente para os açudes do Cambito e da Lagoa Cercada. Esses dois açudes distam entre si apenas 5 km. A diferença entre os valores de $\delta^{18}\text{O}$ medidos para esses dois açudes referente a data de 15/02/2012 foi de 2,65 ‰. Essa grande diferença pode ser devido a influência das características geomorfológicas do reservatório sobre a assinatura isotópica da água ou mesmo uma diferença entre os microclimas de cada açude. Tal diferença pode ser ocasionada por intrusões subterrâneas no açude do Cambito ou uma grande diferença entre as taxas de evaporação dos açudes. A Figura 3 mostra a média dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ dos sete açudes para cada dia de amostragem. Apesar de poder se observar um bom ajuste linear $R^2 = 0,92$, é notório a flutuação nos valores. Essa flutuação nos valores, mostrado pela barra de erro mostra a variação espacial de $\delta^{18}\text{O}$.

Figura 3 - Média dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ dos sete açudes.



Os valores de z otimizados nesse estudo mostram erros da ordem de 10-3. Isso foi notado para todo intervalo escolhido, ou seja, de -17‰ à -8‰. Isso dificultou a escolha de um valor ótimo e que fosse fisicamente coerente. Porém, ao se observar a média dos valores de z para esse intervalo foi possível observar uma concordância da lâmina evaporada com os valores da literatura para regiões semiáridas (COSTA et al., 2010; FONTES, 2008; MAYR et al., 2007; SANTIAGO, 1984). Os valores de z encontrados por MAYR et al. (2007) para dois lagos que se encontravam em uma região semiárida na Argentina variaram entre 50% e 58%, ou seja, de toda a água perdida pelo reservatório, de 50% a 58% era por evaporação. Para os sete açudes estudados o valor médio de z foi de 67%, um pouco maior do que os valores obtidos por MAYR et al.(2007). Em detrimento à média total de 67% dos açudes, foram encontrados individualmente valores que vão de 57% a 84%, Tabela 1. Apesar dos valores de z descreverem bem a relação entre a água perdida por evaporação e a água perdida pelas demais saídas é necessário uma análise da lâmina evaporada para se obter conclusões sólidas sobre a água perdida nesse processo, uma vez que as retiradas por bombeamento e as perdas por infiltração são diferentes para cada reservatório. A média total das lâminas evaporadas para cada reservatório e seu desvio em relação a média foram de $5,4 + 2,1$ mm/dia. Esse valor se aproxima dos valores que temos para regiões semiáridas utilizando métodos isotópicos. Para fins de comparação temos o trabalho de COSTA et al.(2010) que estimou para o reservatório de França, localizado no semiárido Baiano, uma taxa de evaporação de aproximadamente 3,7 mm/dia. Já SANTIAGO(1984) em seus estudos nos açudes Pereira de Miranda (CE) e Caxitoré (CE) encontrou valores médios que iam de 3,2 mm/dia à 5,0 mm/dia. Esse valor também concorda com os valores encontrados por FONTES et al.(2004), que foram de 2,65 mm/dia à 4,75 mm/dia para açudes da região da bacia experimental do rio Cedro (BA). A Tabela 1 mostra os valores médios e os desvios em relação a média de z , a taxa de lâmina evaporada média para o período de estudo e a taxa de rebaixamento médio.

Tabela 1 - Relação dos açudes e seus respectivos valores médios de z , taxa de rebaixamento e taxa de lâmina evaporada.

Açude	z (%)	ΔH (mm/dia)	\bar{E} (mm/dia)
Fogareiro	60 ± 25	9,98	$5,99 \pm 2,49$
Lagoa Cercada	72 ± 30	7,08	$5,10 \pm 2,12$
Cambito	84 ± 17	6,97	$5,86 \pm 1,19$
Riacho Verde	66 ± 26	9,20	$6,07 \pm 2,39$
Algodão	57 ± 23	7,16	$4,08 \pm 1,65$
Vista alegre	62 ± 35	7,03	$4,36 \pm 2,46$
Campina	70 ± 30	8,70	$6,09 \pm 2,61$

Fonte: Autor, 2016.

As grandes margens de erro encontradas nos valores médios de E são devido a grande margem de valores atribuídas a δa bem como ao pequeno intervalo de tempo empregado no estudo. Ou seja, na curva $\delta^{18}O \times f$ os pontos correspondem apenas a uma pequena parcela do rebaixamento total, de 100% à 0% do volume. Durante o período em que se estendeu esse estudo, nenhum dos reservatórios chegou a rebaixar mais do que 50% em relação ao seu valor inicial. Além do mais, a impossibilidade de se manter seguro um tanque classe A não permitiu uma boa acurácia do valor de δa . Isso atribuiu uma incerteza maior à taxa evaporativa. Contudo, comparando os valores da Tabela 1 com os valores de outros estudos para regiões semiáridas é possível perceber uma consistência nos resultados. Na mesma é possível perceber que não há grande diferença entre os valores de E^- , mesmo estando os reservatórios sob diferentes condições geomorfológicas e possuindo morfometrias distintas.

CONCLUSÕES

Com base no que foi exposto pode concluir-se que a otimização utilizando vários métodos é uma metodologia válida para parâmetros que podem alterar significativamente os valores das variáveis de saída. Contudo, essa abordagem deve ser justificada com uma análise de sensibilidade.

A otimização de parâmetros para as relações cota/volume e cota/área mostraram que de fato existe uma diferença entre os parâmetros otimizados para cada uma das relações e que um reservatório deve ser caracterizado levando-se em conta esses dois pares de valores obtidos. E para o caso de simplificações deve-se utilizar funções objetivos que considerem essa dualidade na otimização. Essa medida é importante já que dependendo do objetivo do estudo pode-se necessitar dar prioridade ao uso da profundidade e da área ou do volume e da profundidade.

O cálculo da lâmina evaporada obtido a partir dos valores das variáveis climáticas conhecidas, inserem erros devido a não individualização do reservatório.

A individualização dos reservatórios se mostrou algo essencial para seu estudo. Seja no que tange a sua geomorfologia, seja no que tange ao seu microclima.

Os resultados obtidos para os parâmetros geomorfológicos estudados indicam que reservatórios com capacidades diferentes podem ter características geomorfológicas semelhantes, como é o caso dos reservatórios Lagoa Cercada e Riacho Verde. Essa constatação pode trazer um sério problema para medidas simplificadoras de estimativa de volume de pequenos reservatórios, acarretando em superestimação dos resultados.

Os valores de lâmina evaporada obtidos mostraram que diferentes reservatórios evaporam de forma diferente, podendo essa diferença chegar em 50%.

A única relação observada entre os valores de lâmina evaporada e os parâmetros geomorfológicos é que os reservatórios de menor bacia hidráulica obtiveram os maiores valores de lâmina evaporada. Contudo, não é possível afirmar que pequenos reservatórios evaporam maiores lâminas devido a pequena quantidade de reservatórios amostrados.

Os valores de lâmina evaporada se mostraram muito sensíveis as variações de δa . Isso ficou evidente nos desvios encontrados.

Por fim, esse trabalho sugere estudos individualizados de pequenos açudes e estudos de δa para o sertão nordestino. O estudo dessa variável é importante para uma melhor caracterização isotópica das águas da região, bem como a diminuição dos erros nos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROCK, B. E. et al. Multi-year landscape-scale assessment of lakewater balances in the Slave River Delta, NWT, using water isotope tracers. *Journal of Hydrology*, v. 379, n. 1–2, p. 81–91, 15 dez. 2009.
- BURTE, J. LES PETITS AQUIFERES ALLUVIAUX DANS LES ZONES CRISTALLINES SEMI-ARIDES: FONCTIONNEMENT ET STRATEGIES DE GESTION. Etude de CAS DANS LE NORDESTE BRÉSILIEU. [s.l.] Universidade federal do Ceará/Université Montpellier 2, 17 jun. 2008.
- COSTA, A. et al. Caracterização Isotópica e Estimativa da Evaporação Usando Isótopos Estáveis nos Reservatórios de França e São José do Jacuípe, Região do Semi-árido Baiano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, n. 2, p. 49–58, 2010.
- DESCONNETS, J. C. et al. Hydrology of the HAPEX-Sahel Central Super-Site: surface water drainage and aquifer recharge through the pool systems. *Journal of Hydrology*, v. 188–189, n. 0, p. 155–178, fev. 1997.
- EPSTEIN, S.; MAYEDA, T. Variation of O18 content of waters from natural sources. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 4, n. 5, p. 213–224, nov. 1953.
- FEKETE, B. M. et al. Application of isotope tracers in continental scale hydrological modeling. *Journal of Hydrology*, v. 330, n. 3–4, p. 444–456, 15 nov. 2006.
- FONTES, A. S. Vulnerabilidade à salinização das águas superficiais da Bacia do rio Jacuípe por traçadores ambientais. [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2008.
- FONTES, A. S.; ALVARES, D.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação preliminar da evaporação nos açudes da bacia experimental do rio cedro. São Luís VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (2004), , 2004.
- GIBSON, J. J. Forest-tundra water balance signals traced by isotopic enrichment in lakes. *Journal of Hydrology*, v. 251, n. 1–2, p. 1–13, 15 set. 2001.
- HUNT, R. J. et al. Investigating surface water–well interaction using stable isotope ratios of water. *Journal of Hydrology*, v. 302, n. 1–4, p. 154–172, 1 fev. 2005.
- JONES, M. D.; IMBERS, J. Modeling Mediterranean lake isotope variability. *Global and Planetary Change*, v. 71, n. 3–4, p. 193–200, abr. 2010.
- JONSSON, C. E. et al. Stable oxygen and hydrogen isotopes in sub-Arctic lake waters from northern Sweden. *Journal of Hydrology*, v. 376, n. 1–2, p. 143–151, 30 set. 2009.
- KATTAN, Z. Estimation of evaporation and irrigation return flow in arid zones using stable isotope ratios and chloride mass-balance analysis: Case of the Euphrates River, Syria. *Journal of Arid Environments*, v. 72, n. 5, p. 730–747, maio. 2008.
- LONGINELLI, A. et al. A stable isotope study of the Garda lake, northern Italy: Its hydrological balance. *Journal of Hydrology*, v. 360, n. 1–4, p. 103–116, 15 out. 2008.
- MAYR, C. et al. Precipitation origin and evaporation of lakes in semi-arid Patagonia (Argentina) inferred from stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$). *Journal of Hydrology*, v. 334, n. 1–2, p. 53–63, 20 fev. 2007.
- SANTIAGO, M. M. F. Mecanismos de salinização em regiões semiáridas. Estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1984.
- STICHLER, W. et al. Use of environmental isotopes to define the capture zone of a drinking water supply situated near a dredge lake. *Journal of Hydrology*, v. 362, n. 3–4, p. 220–233, 5 dez. 2008.
- TURNER, K. W.; WOLFE, B. B.; EDWARDS, T. W. D. Characterizing the role of hydrological processes on lake water balances in the Old Crow Flats, Yukon Territory, Canada, using water isotope tracers. *Journal of Hydrology*, v. 386, n. 1–4, p. 103–117, 28 maio. 2010.
- VANDENSCHRICK, G. et al. Using stable isotope analysis (δD – $\delta^{18}\text{O}$) to characterise the regional hydrology of the Sierra de Gador, south east Spain. *Journal of Hydrology*, v. 265, n. 1–4, p. 43–55, 30 ago. 2002.

YI, Y. et al. A coupled isotope tracer method to characterize input water to lakes. Journal of Hydrology, v. 350, n. 1–2, p. 1–13, 15 fev. 2008.