



ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO ISOTÓPICO A MUDANÇAS NA UMIDADE RELATIVA DO AR

J. A. Rebouças¹, M. G. Bezerra², A. S. Marinho³, T. F. de Souza⁴, F. F. C. Filha⁵

RESUMO: O modelo isotópico é um método de cálculo direto da evaporação de corpos hídricos. Isso ocorre devido a assinatura isotópica deixada pelo processo de fracionamento durante a evaporação. Todavia, em detrimento do seu baixo custo e capacidade de individualização do corpo hídrico, o modelo pode sofrer com muitas incertezas decorrentes da falha do monitoramento das variáveis climáticas da região. Uma das variáveis que demonstrou ser uma fonte de grandes incertezas é a umidade relativa. Nesse trabalho foram realizados desvios nos valores ótimos de umidade de -60% à +60% e analisadas as respostas da função objetivo a essas mudanças. Os desvios dos valores ótimos mostraram-se irregulares para aumentos na umidade. A função objetivo sofreu desvios de 1372,60%, 2352,12% e 167,18% para variações de umidade iguais a +10%, +40% e +60%, respectivamente. Já para desvios negativos na umidade, o erro foi suave, com 24,81% para -10% e 60,37% para -60%. O que demonstra que os desvios que superestimam a umidade provocam maiores incertezas no modelo.

PALAVRAS-CHAVE: isótopos, sensibilidade, umidade.

ANALYSIS OF SENSITIVITY ISOTOPIC MODEL TO CHANGE THE RELATIVE AIR HUMIDITY

SUMMARY: The isotopic model is a direct calculation method for the evaporation of water bodies. This is due to the isotopic signature left by the fractionation process during evaporation. However, to the detriment of its low cost and capacity of individualization of the water body, the model can suffer with many uncertainties due to the failure to monitor the climatic variables of the region. One of the variables that has proven to be a source of great uncertainties is relative humidity. In this work deviations were made in the optimal humidity values of -60% to + 60%

¹ Prof. Mestre, Curso de Licenciatura em Química, IFCE, Iguatu, CE.

² Graduanda em Licenciatura em Química, Curso de Licenciatura em Química, IFCE, Iguatu, CE.

³ Graduanda em Licenciatura em Química, IFCE – Campus Iguatu, CEP: 63500-000, Iguatu, CE. Fone (88) 99681755. E-mail: alanemarinho2013@gmail.com

⁴ Graduanda em Licenciatura em Química, Curso de Licenciatura em Química, IFCE, Iguatu, CE.

⁵ Graduanda em Licenciatura em Química, Curso de Licenciatura em Química, IFCE, Iguatu, CE.

and the objective function responses to these changes were analyzed. The deviations of the optimal values were irregular for increases in humidity. The objective function showed deviations of 1372.60%, 2352.12% and 167.18% for humidity variations of + 10%, + 40% and + 60%, respectively. As for negative deviations in moisture, the error was smooth, with 24.81% for -10% and 60.37% for -60%. This shows that deviations that overestimate moisture cause greater uncertainty in the model.

KEYWORDS: isotopes, sensitivity, humidity.

INTRODUÇÃO

A evaporação em corpos hídricos superficiais é um processo inevitável. Esse componente do balanço hídrico chega a ser responsável por, aproximadamente, 99% de toda água perdida em pequenos açudes na região semiárida, (BURTE *et al.*, 2009). Portanto, conhecer a quantidade exata de água perdida por evaporação traz grandes avanços para a gestão eficiente desses recursos.

Os métodos utilizados para a estimativa da evaporação de recursos hídricos superficiais são muitos, (ROSENBERRY *et al.*, 2007) . A maioria desses métodos utilizam equações complexas com dezenas de parâmetros climáticos ou geomorfológicos. Todavia, esses métodos não individualizam o corpo hídrico. São métodos, que por sua natureza, utilizam parâmetros gerais que impedem a verificação da influência do próprio corpo hídrico no microclima que o cerca. O método isotópico se constrói como uma alternativa eficaz no cálculo da lâmina evaporada em corpos hídricos superficiais ou não (BIGGS *et al.*, 2015; GIBSON; EDWARDS; BURSEY, 1993; JONSSON *et al.*, 2009; LIN *et al.*, 2011; NEGREL *et al.*, 2011; PENG *et al.*, 2012; SÁNCHEZ-ESPAÑA *et al.*, 2014). Sua força reside na capacidade de individualizar o corpo hídrico por meio de uma assinatura isotópica. Todavia, ele não é o único método que faz uma medida “direta” da evaporação em corpos hídricos, (PEREIRA *et al.*, 2004)

O método isotópico utiliza o fenômeno do fracionamento isotópico para caracterizar a evaporação. A quantidade física utilizada para o cálculo da evaporação é o δ , (1). Essa quantidade é um desvio relativo da razão isotópica em relação a um padrão, o VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water). A razão isotópica (R) é o quociente da quantidade de isótopos raros (ou isótopos pesados) pela quantidade do isótopo mais abundante (ou isótopos leves) de uma substância. Um δ positivo significa que a amostra está mais enriquecida de

isótopos pesados que o padrão, já um δ negativo significa que a amostra está mais empobrecida que o padrão.

$$\delta(\text{‰}) = \left(\frac{R_{amostra}}{R_{padr\tilde{a}o}} - 1 \right) \cdot 10^3 \quad (1)$$

Uma vez que o processo de evaporação depende das condições climáticas sob as quais ela acontece, o valor de δ da água evaporada está intimamente ligado aos valores de umidade relativa do ar (h) e de temperatura (T). Portanto, para uma boa caracterização do método, é interessante um estudo da sensibilidade do modelo as variações dessas duas variáveis.

A análise de sensibilidade é uma ferramenta que permite identificar quais parâmetros de entrada são sensíveis ou que alteram a variável de saída. Onde uma maior sensibilidade corresponde a uma maior alteração na variável de saída. Dessa forma, a sensibilidade pode ser manipulada para calibrar o modelo e conduzi-lo a um melhor estudo do uso dos recursos hídricos. Segundo White & Chaubey (2005).

O objetivo desse trabalho é avaliar a sensibilidade do modelo isotópico as variações no valor de h.

MATERIAL E MÉTODOS

A variável de saída no modelo isotópico é o percentual de volume evaporado (E). O modelo isotópico utilizado reúne as equações revisadas de Craig & Gordon (1965). As equações estão compiladas no software HYDROCALCULATOR (HC) (SKRZYPEK *et al.*, 2015).

O HC possui três opções para o cálculo de E. Todas as três opções possuem h, T, δ_P (δ inicial do corpo hídrico) e δ_L (δ final do corpo hídrico) como variáveis de entrada comum. A primeira opção tem como entrada característica δ_a (medida da composição isotópica do vapor de ar atmosférico da região). A segunda opção já não utiliza δ_a , mas δ_r (medida da composição isotópica da chuva de região). Já a terceira opção utiliza δ_r e a inclinação da reta de evaporação (LEL). Para o cálculo de E foi utilizado a terceira opção.

A análise de sensibilidade de um modelo a um determinado parâmetro deve partir de variações dos valores ótimos desse parâmetro, (WHITE; CHAUBEY, 2005). Portanto, inicialmente, os valores de h, T e δ_r foram ajustados para a região de estudo. Esses parâmetros foram calibrados utilizando como referência valores das mesmas variáveis de estações próximas da região de estudo e os valores de E medidos em campo. Para a medição de E foi considerado que as perdas por infiltração não eram significativas e que a perda por

bombeamento representava cerca de 1% da perda total, (BURTE *et al.*, 2009). Dessa forma, E corresponde a diferença entre o volume inicial de água contida no reservatório na primeira coleta e o volume na coleta seguinte. O coeficiente de Nash & Sutcliffe (1970) (NSE) foi utilizado para otimizar os parâmetros climáticos do modelo. Após otimizados, os valores de T e δ_r foram mantidos fixos. Os valores de h foram alterados em passos de 10%, para mais e para menos, até alcançar 40% e 160% do valor ótimo, Tabela 1. Para cada alteração de h rodava-se o HC novamente afim de obter valores para E. Em seguida, media-se novamente o NSE. O NSE medido era então comparado com o valor de NSE ótimo.

Tabela 1. Umidades ótimas, valores de fração evaporada para os dados ajustados ($E_{(ótimo)}$) e valores reais de evaporação ($E_{(medido)}$).

Amostragem	h	$E_{(ótimo)}$	$E_{(medido)}$
15/02/2012	0,73	5,77	5,88
21/03/2012	0,65	2,42	2,79
18/04/2012	0,66	2,19	2,18
16/05/2012	0,60	0,96	0,98
13/06/2012	0,74	1,55	1,59
04/07/2012	0,60	1,85	1,85

RESULTADOS

Os valores de NSE obtidos a partir da variação percentual da umidade são mostrados na Tabela 2. Valores de NSE negativo significam que se fosse utilizado a média do período ao invés dos valores ajustados, obter-se-ia valores com melhor eficiência.

Tabela 2. Valores de variação de umidade (Δh) e valores de NSE obtidos com tais variações.

$\Delta h(\%)$	NSE	$\Delta h(\%)$	NSE
+60	-0,665	-10	0,744
+50	-1,105	-20	0,563
+40	-22,297	-30	0,462
+30	-3,533	-40	0,415
+20	-4,900	-50	0,411
+10	-12,589	-60	0,392

A distribuição nos desvios provocados nos valores de NSE para subestimações e superestimações dos valores de h mostrou-se assimétrico, Figura 1. Os valores de NSE obtidos para desvios negativos não o tornam tão ruins quanto os obtidos para desvios positivos. O menor valor encontrado para NSE foi obtido para um desvio de -60%, ou seja, quando a umidade é

reduzida a 40% do seu valor ótimo, foi de 0,392. Essa baixa sensibilidade a subestimação dos valores de h talvez se deva ao aumento do poder evaporativo que uma baixa umidade possui. Para que se exprima em valores, uma queda de 10% no valor de umidade corresponde a um desvio do valor ótimo de, aproximadamente, 25%, já um aumento de 10% no valor ótimo de h produz um erro de, aproximadamente, 1300%. Todavia, esse aumento não é constante. Observa-se na Figura 1 quedas nos erros e uma não continuidade na sequência. Essas quedas, possivelmente, estão relacionadas aos valores negativos que foram encontrados para E . Esses valores indicam entrada de água no corpo hídrico, exatamente o oposto que ocorre na queda de umidade. Essas flutuações no lado direito do gráfico são reflexo das condensações que ocorrem devido aos altos valores de h . A partir de +40% começam a surgir valores de umidade acima de 1. Embora, para certas regiões seja possível valores de h maiores que 1, isso não é verdade para o semiárido. Ou seja, a queda que ocorre no erro a partir de 40% carece de sentido físico.

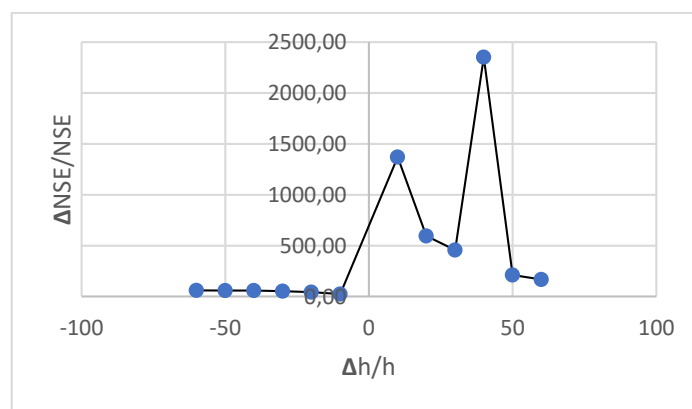


Figura 1. Gráfico da variação percentual da umidade x desvios percentuais no valor da função objetivo.

Os resultados obtidos nesse trabalho não concordam com os resultados de Skrzypek (2015). Para o autor, um desvio de +10% nos valores de h produziriam um erro na saída entre 0,4% e 1,3%.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o modelo HC possuía uma alta sensibilidade ao parâmetro h e que essa sensibilidade é maior para valores superestimados do que para valores subestimados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIGGS, Trent W. *et al.* Evaporative fractions and elevation effects on stable isotopes of high

elevation lakes and streams in arid western Himalaya. *Journal of Hydrology*, v. 522, p. 239–249, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169414010348>>.

BURTE, Julien *et al.* Simulations of multipurpose water availability in a semi-arid catchment under different management strategies. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 8, p. 1181–1190, ago. 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377409000778>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

CRAIG, H; GORDON, L I. No Title. *Deuterium and Oxygen-18 Variations In the Ocean and The Marine Atmosphere. In: Proceedings of a Conference On Stable Isotopes In Oceanographic Studies and Paleotemperatures*, Cited By (since 1996): 1Export Date: 7 December 2012Source: Scopus, p. 9–130, 1965.

GIBSON, J. J.; EDWARDS, T. W. D.; BURSEY, G. G. Estimating Evaporation Using Stable Isotopes : Quantitative Results and Sensitivity Analysis for two Catchments in Northern Canada. *Nordic Hydrology*, v. 24, p. 79–94, 1993.

JONSSON, Christina 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. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169409004144>>.

LIN, In-Tian *et al.* Groundwater–seawater interactions off the coast of southern Taiwan: Evidence from environmental isotopes. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 41, n. 3, p. 250–262, 25 maio 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367912011001118>>.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I - a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v. 10, p. 282–290, 1970.

NEGREL, Ph. *et al.* Understanding groundwater systems and their functioning through the study of stable water isotopes in a hard-rock aquifer (Maheshwaram watershed, India). *Journal of Hydrology*, v. 397, n. 1–2, p. 55–70, 24 jan. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169410007298>>.

PENG, Tsung-Ren *et al.* Using oxygen, hydrogen, and tritium isotopes to assess pond water's contribution to groundwater and local precipitation in the pediment tableland areas of northwestern Taiwan. *Journal of Hydrology*, v. 450–451, n. 0, p. 105–116, 11 jul. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412003976>>.

PEREIRA, Lucilene *et al.* MEDIDAS HIDROQUÍMICAS E ISOTÓPICAS EM ÁGUAS

SUBTERRÂNEAS QUE ABASTECEM O MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS - MARANHÃO. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 18, p. 113–119, 2004. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/medidas-hidro.pdf>>.

ROSENBERRY, Donald O. *et al.* Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. *Journal of Hydrology*, v. 340, n. 3–4, p. 149–166, jul. 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169407002053>>. Acesso em: 16 jul. 2014.

SÁNCHEZ-ESPAÑA, Javier *et al.* Hydrological investigation of a multi-stratified pit lake using radioactive and stable isotopes combined with hydrometric monitoring. *Journal of Hydrology*, v. 511, p. 494–508, 2014. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169414001000>>.

SKRZYPEK, Grzegorz *et al.* Estimation of evaporative loss based on the stable isotope composition of water using Hydrocalculator. *Journal of Hydrology*, v. 523, p. 781–789, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169415001134>>.

WHITE, Kati L.; CHAUBEY, Indrajeet. SENSITIVITY ANALYSIS, CALIBRATION, AND VALIDATIONS FOR A MULTISITE AND MULTIVARIABLE SWAT MODEL. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 41, n. 5, p. 1077–1089, out. 2005. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03786.x>>. Acesso em: 16 mar. 2012.