

ABR 14,
Sobradinho
1987

COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS CLIMATOLÓGICOS E O USO DE TANQUES CLASSE A PARA ESTIMAR A EVAPORAÇÃO NO RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO

POR

N.L.C.Dias¹ e J.Kelman^{2,3}

RESUMO -- Os métodos disponíveis para se estimar a evaporação em lagos compreendem o uso de tanques classe A ou de modelos climatológicos. Um dos principais problemas no primeiro caso é a escolha do coeficiente de tanque. Já no segundo caso, a maioria dos modelos subentende a existência, rara na prática, de dados climatológicos sobre a superfície do lago. Ambas as questões são apresentadas e discutidas conceitualmente. É feita em seguida uma comparação entre as estimativas de evaporação em lago com o uso de tanque evaporimétrico e aquelas obtidas pelo modelo CRLE, recentemente proposto e que prescinde de dados sobre a superfície do lago. Mostra-se que as estimativas do CRLE são muito menos sensíveis ao ponto de coleta dos dados do que as obtidas em tanque classe A.

INTRODUÇÃO

Do total de água evaporado sobre a superfície dos continentes e oceanos anualmente, uma pequena parcela corresponde à evaporação de lagos naturais ou artificiais. Não obstante, a evaporação em lagos é considerada como "perda" pelos planejadores de recursos hídricos, sendo sempre necessário fazer uma estimativa do seu valor em um reservatório, tanto na época do projeto quanto ao longo do período de operação. É interessante observar que em regiões com escassez de recursos hídricos, como o Nordeste, torna-se vital estimar corretamente as perdas por evaporação.

Este trabalho tem por objetivo analisar alguns modelos atualmente disponíveis para a estimativa da evaporação a partir de dados climatológicos em termos de consistência teórica, requerimento de dados e importância de cada dado. Foi feito um estudo de caso com postos climatológicos ao redor do reservatório de Sobradinho.

Em todas as fórmulas, usa-se o sistema internacional de unidades (SI) com a evaporação expressa em quilogramas de água evaporados por metro quadrado por segundo ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Na apresentação dos resultados, os valores são convertidos para milímetros (mm).

¹Professor Assistente, COPPE/UFRJ - CP 68506 CEP 21945, RJ

²Professor Adjunto, COPPE/UFRJ - CP 68506 CEP 21945, RJ

³Pesquisador, CEPEL - CP 2754 CEP 20001, RJ

USO DE EVAPORÍMETROS

Possivelmente, o procedimento mais amplamente utilizado para estimar a evaporação em lagos seja o uso de dados evaporimétricos de tanques classe A. Supõe-se uma relação simples

$$E = CE_A$$

(1)

entre a evaporação em lago E e a evaporação em tanque E_A . Na equação (1) o coeficiente de tanque C em geral é menor que 1, sendo comum admitir-se o valor 0,7. Entretanto, há evidências de uma forte variação de C de acordo com a região, aproximando-se de 0,5 em climas áridos (NORTON, 1983).

A título de ilustração, os valores anuais de C fornecidos por SELLERS (1965) para alguns lagos estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficientes de tanque Classe A para diversos lagos.

Lago	Coeficiente de Tanque
Salton Sea	0,52
Hefner	0,62
Mead	0,74
Mendota	0,82

MODELOS CLIMATOLÓGICOS

Denominamos de modelos climatológicos aqueles que usam medidas de insolação, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura da água para a estimação de E. A base conceitual destes modelos é dada pelas equações de transferência de vapor e de Balanço de Energia - Razão de Bowen (DIAS, 1986):

$$E = f_T (e_o^* - e_a) \quad (2)$$

$$LE = \frac{R_{lo} - G}{1 + B_o} \quad (3)$$

$$B_o = \gamma \frac{T_o - T_a}{e_o^* - e_a} \quad (4)$$

Na equação (2), f_T é o coeficiente de transferência de vapor, (função da velocidade do vento v_a), e_o^* é a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura T_o da superfície, e e_a é a pressão parcial de vapor d'água no ar.

Na equação (3), L é o calor latente da evaporação da água, $R_{\lambda 0}$ é a radiação líquida na superfície, G é o fluxo de calor associado com o aquecimento/resfriamento das águas do lago e B_0 é a relação de Bowen: relação entre os fluxos de calor sensível e o calor latente da superfície para a atmosfera.

Na equação (4), γ é a constante psicrométrica ($\gamma = 66,5 \text{ Pa}\cdot\text{K}^{-1}$ ao nível do mar) e T_a a temperatura do ar, os demais símbolos já tendo sido definidos.

Nas equações (2), (3) e (4), é importante notar a suposição fundamental de que a superfície está saturada de água. Esta suposição se reflete na existência de uma dependência funcional entre a pressão de vapor na superfície e sua temperatura:

$$e_0 = e^*(T_0) = e_0^* \quad (5)$$

onde $e^*(.)$ representa a curva de pressão de saturação de vapor d'água.

Suponha $G = 0$, que é o que ocorre em lagos rasos. O uso das equações (3) e (4) permite calcular E a partir da medição de $R_{\lambda 0}$, e_a , T_a e T_0 sobre a superfície do lago. Alternativamente, podemos incluir a equação (2) e encarar (2), (3) e (4), como um sistema de equações nas incógnitas E e T_0 . De fato, isto foi feito pela primeira vez por PENMAN (1948), que eliminou T_0 do sistema e obteve a seguinte aproximação analítica para E :

$$E \approx \frac{d_a}{d_a + \gamma} \frac{R_{\lambda a} - G}{L} + \frac{\gamma}{d_a + \gamma} f_T (e_a^* - e_a) \quad (6)$$

onde

$$e_a^* = e^*(T_a) \quad (7)$$

$$d_a = \left. \frac{de^*}{dT} \right|_{T_a} \quad (8)$$

e $R_{\lambda a}$ é a radiação líquida supondo que a superfície encontra-se à temperatura T_a .

Pristley e Taylor propuseram uma equação empírica que obteve largo sucesso (PRIESTLEY e TAYLOR, 1972; STEWART e ROUSE, 1976; De BRUIN e KEIJMAN, 1979; UNESCO, 1981):

$$E = \alpha \frac{d_0}{d_0 + \gamma} \frac{R_{\lambda 0} - G}{L} + \frac{\beta}{L} \quad (9)$$

com

$$d_0 = \left. \frac{de^*}{dT} \right|_{T_0} \quad (10)$$

Originalmente, a equação (9) foi proposta com $\alpha = 1,26$ e $\beta = 0$. De BRUIN e KEIJMAN (1979) e MORTON (1983) a utilizaram com valores ligeiramente diferentes.

A questão fundamental relacionada com os modelos apresentados, e que limita seriamente o seu uso, é que os valores de $R_{\lambda 0}$, V_a , c_a , T_a e T_0 devem ser medidos no ambiente do lago, o que é muito difícil na prática. De fato, estas medidas (exceto T_0) são muito mais comuns em estações climatológicas em terra.

O MODELO CRLE

MORTON (1983) propõe uma solução interessante no seu modelo CRLE ("Complementary Relationship Lake Evaporation"). Primeiro, ele resolve o sistema de equações (2), (3) e (4) com valores de c_a , T_a medidos em terra. As parcelas da radiação líquida que não dependem da temperatura da superfície são estimadas também com dados em terra. A solução do sistema é o par (E_p, T_p) , significando "evaporação potencial" e "temperatura de equilíbrio". Uma vez que em terra a umidade é menor, e a temperatura maior, que sobre o lago, a evaporação potencial E_p deverá superar a evaporação do lago E . Por outro lado, observa-se que a temperatura T_p é muito menos sensível às diferenças entre o ambiente terrestre e o do lago. Assim, a evaporação em lago do modelo CRLE é dada por uma fórmula análoga à de Priestley e Taylor:

$$E_w = \alpha \frac{d_p}{d_p + \gamma} \frac{R_{\lambda p}}{L} + \frac{\beta}{L} \quad (11)$$

Todos os símbolos de (11) podem ser compreendidos por analogia com os anteriores, com os significados de $(T_p, d_p$ e $R_{\lambda p})$ correspondendo aos de $(T_0, d_0$ e $R_{\lambda 0})$.

Uma indicação de que os valores da temperatura de equilíbrio T_p devem se aproximar da temperatura do lago T_0 é dada pelos valores médios de α e β encontrados por Priestley e Taylor e De Bruin e Keijman e usados na equação (9), com aqueles encontrados por Morton e usados na equação (11), conforme indicado na Tabela 2:

Tabela 2 - Parâmetros α e β da equação de Priestley e Taylor segundo diversos pesquisadores.

PESQUISADOR	EQUAÇÃO	TEMPERATURA	α	β
Priestley e Taylor	(9)	T_0	1,26	0
De Bruin e Kjeiman	(9)	T_0	1,16	10,9
Morton	(11)	T_p	1,12	13,0

ESTIMATIVAS DE EVAPORAÇÃO EM SOBRADINHO

O reservatório de Sobradinho situa-se no rio São Francisco, 40 Km a montante das cidades de Juazeiro (BA) e Petrolina (PE). Os dados usados neste estudo são informações climatológicas de rotina em 3 postos ao redor do reservatório, nos anos 1979-1982. Informações sobre os postos encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 - Postos climatológicos utilizados. Fonte: Inventário das Estações Pluviométricas - 1983 (DNAEE).

POSTO	CÓDIGO DNAEE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
Petrolina	00940006	09°23' S	40°30' W	376,0 m
Remanso	00942007	09°30' S	42°06' W	400,0 m
Barra	01143005	11°05' S	43°10' W	401, m

Em cada posto, foram usadas as médias mensais de evaporação em tanque classe A, temperatura do ar, insolação e umidade relativa do ar para estimar a evaporação em lago usando a equação (1) com um coeficiente de tanque $C = 0,7$ e o modelo CRLE.

A figura 1 apresenta os dados de evaporação em tanque classe A dos postos de Remanso e Barra (dados evaporimétricos de Petrolina não estavam disponíveis). A figura 2 apresenta os valores de evaporação mensal calculados para Sobradinho pelo modelo CRLE a partir dos dados de cada um dos três postos.

Enquanto que os dados evaporimétricos são muito sensíveis ao ponto de coleta, apresentando valores bastante diferentes em Remanso e Barra, as estimativas de evaporação em lago do CRLE são muito mais uniformes. Em outras palavras, não importa em que ponto da margem do reservatório se coletem os dados, as estimativas de evaporação em lago do CRLE serão praticamente as mesmas. No entanto, MORTON (1987, comunicação pessoal) considera os dados evaporimétricos de Barra anormalmente baixos, e indica a possibilidade da ocorrência de erros sistemáticos de medição.

A tabela 4 lista a evaporação anual em mm estimada pelo CRLE, sendo um resumo da figura 2. A tabela 5 dá a evaporação anual do lago em mm obtida aplicando-se um coeficiente $C = 0,7$ aos dados evaporimétricos. A última coluna de cada tabela dá a diferença percentual das estimativas obtidas com os dados de Barra e Remanso.

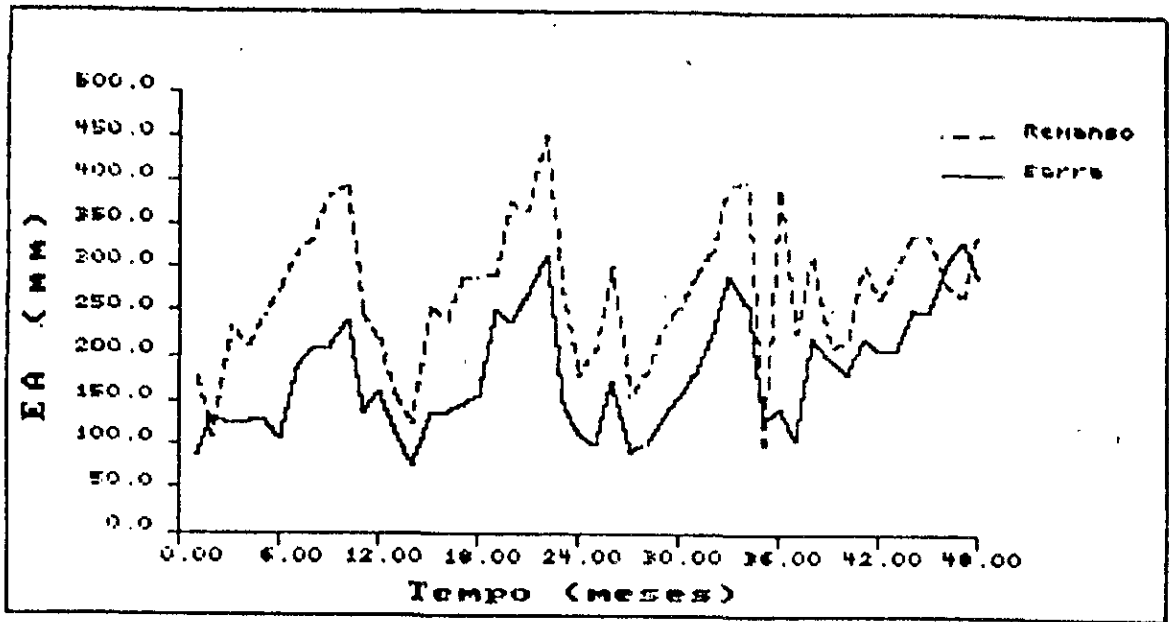


Figura 1 - Evaporação em tanque Classe A média mensal em Remanso e Barra, 1979-1982.

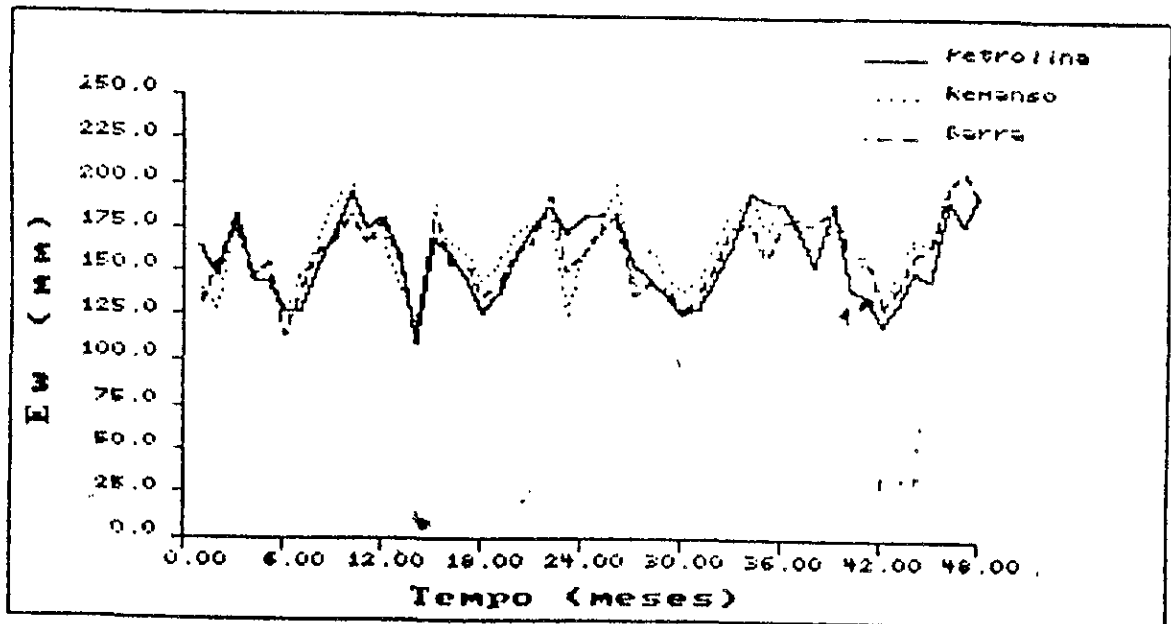


Figura 2 - Evaporação em lago raso (E_w) estimada pelo CRLE para o lago de Sobradinho a partir dos postos de Petrolina, Remanso e Barra, 1979-1982.

Tabela 4 - Evaporação anual em lago raso (mm) estimada pelo CRLE.

POSTO ANO	PETROLINA	REMANSO	BARRA	$ (B-R)/R $
1979	1905	1913	1863	0,026
1980	1972	1874	1866	0,004
1981	1938	2011	1981	0,070
1982	1903	2038	2049	0,005

Tabela 5 - Evaporação anual em lago raso (mm) estimada por dados evaporimétricos com um coeficiente de tanque C = 0,7.

POSTO ANO	REMANSO	BARRA	$ (B-R)/R $
1979	2187	1322	0,396
1980	2288	1469	0,358
1981	2247	1386	0,383
1982	2382	1940	0,186

CONCLUSÕES

Alguns dos modelos climatológicos desenvolvidos para obter a evaporação de uma superfície líquida pressupõem o conhecimento de informações climatológicas sobre a água, ou da temperatura da superfície do lago. Isto restringe o seu uso, na prática, uma vez que tais informações não são frequentes.

O uso de dados evaporimétricos é muito difundido. Entretanto, o valor do "coeficiente de tanque" tem uma grande variação regional. Em particular, em Sobradinho, dois evaporímetros situados em postos na região do reservatório apresentam diferenças anuais que vão de 18,6% a 39,6%.

O modelo CRLE apresentou resultados uniformes, com estimativas muito parecidas nos 3 postos em que foi aplicado. As diferenças observadas neste caso vão de 0,4% a 2,6%. Conforme pode ser verificado em DIAS (1986), os dados de entrada do CRLE (temperatura do ar, umidade e insolação) são eles mesmos bastante uniformes na região, o que explica os resultados aqui apresentados.

É importante notar que não se conhece a evaporação "real" do lago, de modo que nos limitamos a comparar, conceitualmente e na prática, cada um dos modelos apresentados. Em particular, é bom lembrar que o modelo empírico de Priestley e Taylor tem bons resultados mencionados na literatura, e pode ser usado quando se dispõe

de dados de temperatura da água e uma maneira de se estimar R_{lo} e G.

REFERÊNCIAS

- De BRUIN, H.A.R. e KEIJMAN, J.Q. (1979), "The Priestley - Taylor Evaporation Model Applied to a Large Shallow Lake in the Netherlands", Journal of Applied Meteorology, Volume 18, pages 898-903.
- DIAS, N.L.C. (1986), Estimativas Climatológicas de Evaporação em Lagos. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ.
- MORTON, F.I. (1983), "Operational Estimates of Lake Evaporation", Journal of Hydrology, Volume 66, pages 77-100.
- PENMAN, H.L. (1948), "Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass", Proceedings of the Royal Society, London, A 193, pages 120-146.
- PRIESTLEY, C.H.B. e TALYOR, R.J. (1972), "On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters", Monthly Weather Review, Volume 100, pages 81-92.
- STEWART, R.B. e ROUSE, W.R. (1976), "A Simple Method for Determining the Evaporation from Shallow Lakes and Ponds", Water Resources Research, Volume 12, pages 623-628.

COMPARISON BETWEEN CLIMATOLOGICAL MODELS AND THE USE OF
CLASS-A TANKS TO ESTIMATE EVAPORATION IN THE
RESERVOIR OF SOBRADINHO

BY

N.L.C.Dias and J.Kelman

ABSTRACT -- Available methods to estimate lake evaporation include the use of either Class-A tanks or climatological models. One of the most important questions in the first case is the choice of a pan coefficient. On the other hand, most of the climatological models require the use of over-water data, which is rare in practice. Both questions are presented and discussed conceptually. A comparison is then made between Class-A tank estimates and those obtained by the recently proposed CRLE model, which allegedly requires only land-based data. It is shown that the CRLE estimates are much less sensitive to the point in land where the data are collected.