

Estimativa de evaporação no reservatório Pedras Brancas, Estado do Ceará, e análise de sensibilidade dos métodos avaliados à variação dos elementos meteorológicos.

R. A. O. Leão¹; S. K. Tsuchiya², O. C. Rocha Neto², A. S. Teixeira³, A. A. Soares⁴.

RESUMO: A evaporação nos reservatórios do semiárido é um dos principais componentes no balanço hídrico. Neste trabalho, buscou-se avaliar diferentes métodos combinados (Kohler-Nordenson-Fox, Priestley-Taylor, Penman, deBruim-Keijman, Brutsaert-Stricker e deBruim) de estimativa da evaporação no reservatório Pedras Brancas, no Ceará, bem como a sensibilidade dos mesmos à variação dos fatores meteorológicos. Foram calculadas, em planilha Excel, estimativas diárias de evaporação a partir de dados de radiação, temperatura, umidade e velocidade do vento fornecidos por uma estação meteorológica automática. Os dados de cada fator, isoladamente, foram alterados em 1%, para cima e para baixo, fixando-se os demais, para a análise de sensibilidade. Os métodos diferiram em até 40% quanto ao volume evaporado em 2005 e apresentaram sensibilidade variável com o fator meteorológico modificado.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo de reservatórios, Variação climática, Semi-Árido

ABSTRACT: Evaporation from reservoirs located in semiarid regions are a key component in water balance. The aim of this work was to evaluate six combined methods (Kohler-Nordenson-Fox, Priestley-Taylor, Penman, deBruim-Keijman, Brutsaert-Stricker and deBruim) for evaporation estimation in the Pedras Brancas reservoir, in Ceará, as well as the sensibility of computed evaporation to variations in meteorological variables. Daily evaporation was estimated using solar radiation, air temperature, relative humidity and Wind speed obtained in a automatic weather station. In order to evaluate the sensitivity of the input parameters, each variable was increased and decreased over 1% individually, with the others being constant. It was found up to 40% difference in estimated evaporation between methods for the year 2005 and evaporation presented variable sensitivity to the meteorological variable considered.

PALAVRAS-CHAVE: Reservoir manegement, weather variability, semiarid

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Rua João Cordeiro, 1501/102. Fortaleza-CE, CEP 60110-300, Fortaleza-CE, Fone (85) 30674699. e-mail: alipioleao@yahoo.com.br

² Graduando em Agronomia, UFC, Fortaleza-CE

³ Prof. PhD., Dpto. Eng. Agrícola, UFC, Fortaleza-CE

⁴ Prof. PhD., Dpto. Eng. Agrícola, UFV, Viçosa-MG

INTRODUÇÃO:

Na evaporação, a água passa do estado líquido para o gasoso, indo à atmosfera. Nas regiões semiáridas, a considerável evaporação nos reservatórios consiste em perda no balanço hídrico. A estimativa dos componentes deste balanço é indispensável em estudos de previsão de nível dos reservatórios, operação e manejo de recursos hídricos, irrigação, impactos ambientais; qualidade de água e planejamento de obras hidráulicas (BURMAN e POCHOP, 1994; PEREIRA, 2004 e GIANNIOU e ANTONOPOULOS, 2007).

Os principais fatores meteorológicos envolvidos são radiação, temperatura, umidade e velocidade do vento (ALLEN et al., 1998 e TUCCI e BELTRAME, 2004).

Os métodos para determinação da evaporação são classificados conforme os processos e/ou os instrumentos utilizados (BURMAN e POCHOP, 1994; TUCCI e BELTRAME, 2004; PEREIRA, VILLA NOVA e SEDIYAMA, 2004; PEREIRA, 2004 e GIANNIOU e ANTONOPOULOS, 2007): 1 - Métodos de transferência de massa. Ver Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) e Tucci e Beltrame (2004); 2 – Métodos baseados no Balanço Hídrico. Ver Tucci e Beltrame (2004); 3 – Métodos baseados no Balanço Energético. Ver Gianniou e Antonopoulos (2007); 4 – Métodos que utilizam tanque de evaporação. Ver Pereira, Villa Nova e Sedyama (2004) e Pereira (2004); 5 – Métodos empíricos e/ou combinados.

Buscou-se avaliar as estimativas da evaporação no açude Pedras Brancas, no Ceará, por diferentes métodos combinados e a sensibilidade às variações dos fatores meteorológicos.

MATERIAL E MÉTODOS:

Realizaram-se estimativas da evaporação no reservatório Pedras Brancas, localizado no município de Quixadá, Sertão Central do Estado do Ceará, no Nordeste Brasileiro. Segundo o DNOCS, o referido reservatório tem capacidade de armazenamento de 434,04 hm³, vazão regularizada de 3,22 m³.s⁻¹ e bacia hidrográfica de 1984,55 km².

Os métodos combinados de estimativa de evaporação utilizados nesta avaliação foram:

1 - Kohler-Nordensor-Fox

$$E_l = 0,0353 \left(0,7 \frac{\Delta R_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \right) \quad (1)$$

$$2 - \text{Priestley-Taylor} \quad E_l = 86,4\alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n - G}{\lambda \rho} \quad (2)$$

$$3 - \text{Penman} \quad E_l = 86,4 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n - G}{\lambda \rho} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 0,26(0,5 + 0,54u_2)(e_s - e_a) \quad (3)$$

$$4 - \text{deBruim-Keijman} \quad E_l = 86,4 \frac{\Delta}{0,85\Delta + 0,63\gamma} \frac{R_n - G}{\lambda \rho} \quad (4)$$

$$5 - \text{Brutsaert-Stricker} \quad E_l = 86,4(2\alpha - 1) \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n - G}{\lambda \rho} - \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 0,26(0,5 + 0,54u_2)(e_s - e_a) \quad (5)$$

$$6 - \text{deBruim} \quad E_l = 86,4 \left[1,192 \frac{\alpha}{\alpha - 1} \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{(2,9 + 2,1u_2)}{\lambda \rho} \right] \quad (6)$$

Em que E_l é a evaporação no lago, (mm d^{-1}); Δ é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor de água no ar e γ é a constante psicrométrica, ambos em $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; R_n é o saldo de radiação e E_a é uma função aerodinâmica, os dois em W m^{-2} ; $\alpha = 1,26$ é a constante de Priestley-Taylor, obtida empiricamente e adimensional; λ é o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}); $\rho = 1000$ é a densidade da água (kg m^{-3}); u_2 é a velocidade do vento tomada 2 m acima da superfície (m s^{-3}); e_s e e_a são, respectivamente, a pressão de saturação de vapor de água à temperatura do ar e a pressão de vapor atual, em mbar.

Os valores 0,0353 na equação (1) e 86,4 nas demais são fatores de conversão de unidade para mm d^{-1} . Os termos acima foram obtidos conforme Allen et al. (1998) a partir da radiação solar, temperatura, umidade e velocidade do vento da Plataforma de Coleta de Dados Quixadá (PCD-Quixadá), sob responsabilidade da Fundação Cearense de Meteorologia - Funceme. Cada fator foi alterado em 1% para cima e para baixo, fixando-se os demais para avaliação da sensibilidade de cada método.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

As maiores estimativas de evaporação se deram em outubro e novembro e as menores em maio e junho (Figura 1). Esta condição foi apresentada por todos os métodos de estimativa de evaporação analisados. O método de Priestley-Taylor apresentou a maior variação ao longo do ano, subestimando a evaporação em relação aos demais métodos no período chuvoso e superestimando no seco. Evidencia-se a maior discrepância entre os métodos no período de maior. Os eventos de evaporação máxima e mínima estimada por método estão na Tabela 1.

Os dados anuais de evaporação no reservatório Pedras Brancas, bem como a sensibilidade dos métodos estudados devido à variação para mais e para menos, em 1%, nos dados obtidos da Plataforma de Coleta de Dados da FUNCEME estão expostos na Tabela 2.

O método deBruin apresentou as maiores estimativas de evaporação no reservatório (2522 mm) em 2005, seguido pelos métodos Penman (2304 mm), Priestley-Taylor (2104 mm), deBruin-Keijman (2090 mm), Brutsaert-Stricker (1815 mm) e Kohler-Nordenson-Fox (1572 mm). Estas lâminas, considerando-se a área média da superfície e o volume médio armazenado em 2005 (2790,6 ha e 139,2 hm³), são, respectivamente, os volumes e o percentual armazenado aproximados de 70,37 hm³ e 50,6%; 64,28 hm³ e 46,2%; 58,72 hm³ e 42,2%; 58,31 hm³ e 41,9%; 50,65 hm³ e 36,4% e 43,85 hm³ e 35,1%.

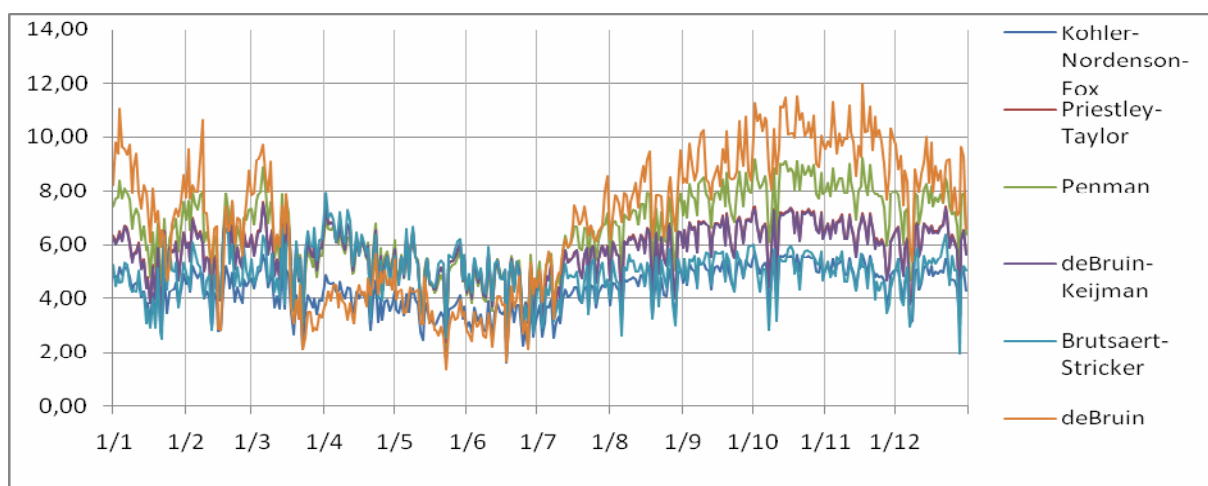


Figura 1. Estimativas da evaporação no reservatório Pedras Brancas pelos métodos de Kohler-Nordenson-Fox, Priestley-Taylor, Penman, deBruin-Keijman e Brutsaert-Stricker.

Tabela 1. Estimativa de evaporação máxima e mínima por método e registros de dados meteorológicos apresentados nos respectivos dias do ano de 2005.

DADOS	Kohler-Nordenson-Fox		Priestley-Taylor		Penman		deBruin-Keijman		Brutsaert-Stricker		deBruin	
Maior Estimativa de Evaporação	5,71		7,59		9,23		7,51		7,95		12	
Menor Estimativa de Evaporação	1,59		2,17		2,15		2,17		1,96		1,34	
Data	Dia1	Dia2	Dia1	Dia2	Dia1	Dia2	Dia1	Dia2	Dia1	Dia2	Dia1	Dia2
	2/10	18/6	6/3	18/6	17/11	18/6	6/3	18/6	2/4	28/12	17/11	23/5
Temperatura Máxima	36,6	27,2	36,1	27,2	36,5	27,2	36,1	27,2	31,9	31,2	36,5	26,9
Temperatura Mínima	22,8	22,6	22,7	22,6	22,8	22,6	22,7	22,6	22,9	24,4	22,8	22,6
Temperatura Média	29,7	24,9	29,4	24,9	29,7	24,9	29,4	24,9	27,4	27,8	29,7	24,6
Umidade Relativa Máxima	81	94	86	94	76	94	86	94	94	80	76	94

Umidade Relativa Mínima	20	71	25	71	22	71	25	71	49	36	22	79
Umidade Relativa Média	51	82	56	82	49	82	56	82	71	58	49	86
Velocidade Média dos Ventos	4,1	1,3	3,8	1,3	4,4	1,3	3,8	1,3	2,0	3,7	4,4	1,6
Radiações Incidentes Total	25572	6112	25601	6112	24744	6112	25601	6112	24668	9867	24744	6899

Legenda: Dia 1- refere-se ao dia de maior evaporação; Dia 2- refere-se ao dia de Menor Evaporação.

Observa-se uma variação de 0,02 a 1,71% na evaporação anual em decorrência do acréscimo ou decréscimo nos dados meteorológicos. A maior variação foi obtida pelo método deBruin (1% a mais URmax) e a menor, no método Brutsaert-Stricker (1% a mais Tmax).

Observa-se ainda maior sensibilidade no método deBruin para o acréscimo ou decréscimo em 1% de quaisquer dados climatológicos, a exceção da Rs, cuja maior sensibilidade foi apresentada pelo método Brutsaert-Stricker.

Tabela 2. Estimativa da evaporação (mm) para o reservatório Pedras Brancas em 2005 e análise da sensibilidade dos métodos utilizados, em decorrência da variação em 1% nos dados meteorológicos obtidos na Plataforma de Coleta de Dados Quixadá da FUNCEME

Método	Kohler-Nordenson-Fox			Priestley-Taylor			Penman		
Observado	1572			2104			2394		
Variação	total	Abs	Rel	total	Abs	Rel	total	Abs	Rel
Tmax + 1%	1578	6	0,4%	2110	6	0,3%	2406	12	0,5%
Tmax - 1%	1565	-7	0,4%	2098	-6	0,3%	2381	-13	0,5%
Tmin+1%	1566	-6	0,4%	2103	-1	0,0%	2383	-11	0,5%
Tmin-1%	1563	-9	0,6%	2093	-11	0,5%	2379	-15	0,6%
URmax + 1%	1564	-8	0,5%	2100	-4	0,2%	2378	-16	0,7%
URmax - 1%	1566	-6	0,4%	2096	-8	0,4%	2384	-10	0,4%
URmin + 1%	1564	-8	0,5%	2100	-4	0,2%	2379	-15	0,6%
URmin - 1%	1566	-6	0,4%	2097	-7	0,3%	2383	-11	0,5%
VVmed + 1%	1566	-6	0,4%	2098	-6	0,3%	2386	-8	0,3%
VVmed - 1%	1564	-8	0,5%	2098	-6	0,3%	2376	-18	0,8%
Rs + 1%	1575	3	0,2%	2117	13	0,6%	2396	2	0,1%
Rs - 1%	1555	-17	1,1%	2080	-24	1,1%	2367	-27	1,1%

Método	deBruin-Keijman			Brutsaert-Stricker			deBruin		
Observado	2090			1815			2522		
Variação	total	Abs	Rel	total	Abs	Rel	total	Abs	Rel
Tmax + 1%	2095	5	0,2%	1815	0	0,0%	2549	27	1,1%
Tmax - 1%	2085	-5	0,2%	1815	0	0,0%	2495	-27	1,1%
Tmin+1%	2089	-1	0,0%	1824	9	0,5%	2488	-34	1,3%
Tmin-1%	2080	-10	0,5%	1807	-8	0,4%	2502	-20	0,8%
URmax + 1%	2087	-3	0,1%	1823	8	0,4%	2479	-43	1,7%
URmax - 1%	2083	-7	0,3%	1808	-7	0,4%	2511	-11	0,4%
URmin + 1%	2086	-4	0,2%	1821	6	0,3%	2483	-39	1,5%
URmin - 1%	2083	-7	0,3%	1810	-5	0,3%	2506	-16	0,6%

VVmed + 1%	2085	-5	0,2%	1810	-5	0,3%	2511	-11	0,4%
VVmed - 1%	2085	-5	0,2%	1821	6	0,3%	2479	-43	1,7%
Rs + 1%	2103	13	0,6%	1837	22	1,2%	2495	-27	1,1%
Rs - 1%	2067	-23	1,1%	1794	-21	1,2%	2495	-27	1,1%

Quanto à variação em 1% da Tmax para cima, o método Brutsaert-Stricker foi o menos sensível e o deBruin o mais sensível. O mesmo aconteceu com essa variação sendo para baixo. O método deBruin também foi o mais sensível com a variação em 1% da Tmin para cima e os menos sensíveis foram deBruin-Keijman e Priestley-Taylor. Se esta variação, neste componente do clima foi para baixo, deBruin continuou sendo o método mais sensível e Brutsaert-Stricker o menos sensível.

Os acréscimos em 1% na URmax e URmin afetaram mais as estimativas da evaporação pelo método deBruin. Quando na URmax, o menos sensível foi o método deBruin-Keijman e na URmin, os menos sensíveis foram os métodos Priestley-Taylor e deBruin-Keijman. O decréscimo em 1% na URmax afetou igualmente todos os métodos e na URmin, afetou mais o método deBruin e menos os métodos Priestley-Taylor, deBruin-Keijman e Brutsaert-Stricker.

Os métodos mais sensíveis ao acréscimo em 1% da VVmed foram Kohler-Nordenson-Fox e deBruin e o menos sensível o deBruin-Keijman. Para o decréscimo na VVmed, o mais sensível foi deBruin e o menos sensível o deBruin-Keijman.

O aumento em 1% nos dados de Rs afetou menos o método de Penman, e mais o resultados de Brutsaert-Stricker. O decréscimo na Rs afetou igualmente a todos os métodos.

CONCLUSÕES:

Os métodos combinados de estimativa de evaporação, para o reservatório Pedras Brancas, apresentaram discordância de até 40% no que se refere ao total de água evaporado em 2005. As diferenças entre os métodos avaliados são maiores no período de maior aridez. O método proposto por deBruin é o mais sensível às variações meteorológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration** (guideline for computing crop water requirements). (série FAO Irrigation and Drainage Paper, 56). Rome: FAO, 1998. 300p.
- BURMAN, L. POCHOP, L. O. **Evaporation, evapotranspiration and climatic data**. Amsterdam: Elsevier, 1994. 278p. Developments in Atmospheric Science 22.
- GIANNIOU, S. K.; ANTONOPOULOS, V. Z. Evaporation and energy budget in Lake Vegorits, Greece. **J. Hydrol.**, v. 345, p. 212-223, 2007.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ. 1997. 183p.
- PEREIRA, S. B. Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco. 2004. 105f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2004.
- TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia** – ciência e aplicação. 3ª Ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 2004. Cap. 7, p. 253-288.