



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



Comparação entre métodos de estimativa da evaporação para o Município de Mossoró-RN¹

Isaac Alves da Silva Freitas²; Anna Kézia Soares de Oliveira³; Tecla Ticiane Félix da Silva⁴; José Espínola Sobrinho⁵; Edmilson Gomes Cavalcante Júnior⁶; Saulo Tasso Araújo da Silva⁷

¹ Trabalho destinado a apresentação no XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

² Graduando em Agronomia, UFERSA, Mossoró-RN, Fone: (84)98140-1233, isaacntn@outlook.com

³ Graduanda em Agronomia, Bolsista BIBIC/Cnpq, UFERSA, annakezia@outlook.com

⁴ Graduanda em Agronomia, Bolsista PICI/UFERSA, teclaticiane12@hotmail.com

⁵ Agrônomo, Prof. Titular, Depto. DCAT, UFERSA, Mossoró-RN, jespino1a@ufersa.edu.br

⁶ Doutorando, PPMSA/UFERSA, Mossoró-RN, ediguatu@yahoo.com.br

⁷ Meteorologista, Prof. Adjunto II, Depto. DCAT, UFERSA, Mossoró-RN, saulo@ufersa.edu.br

RESUMO: Objetivou-se no presente trabalho a avaliação de cinco diferentes métodos de estimativa da evaporação, tendo como método padrão para a avaliação dos demais, o método criado por Penman-FAO (1948). A localidade para coleta de dados foi a Universidade Federal Rural do Semiárido UFERSA (5° 12' 03" S, 37° 19' 36" W, 18 m), na cidade de Mossoró-RN. Os dados foram obtidos por uma estação meteorológica automática instalada dentro do *Campus* Universitário. Os dados utilizados na estimativa da evaporação foram coletados, diariamente, no período de 12 de setembro de 2013 a 07 de maio de 2014. O sistema de registro, tipo Datalogger, registrou: temperaturas máxima, média e mínima do ar, umidade relativa máxima, média e mínima do ar, velocidade do vento e, radiação solar global. Os demais parâmetros de entrada para uso nas equações foram determinados indiretamente a partir dos dados medidos. Os métodos utilizados neste trabalho foram: Penman-FAO (1948) que foi utilizado como método padrão para a avaliação dos demais, Dalton (Gangopadhyaya 1966), Stelling (1892), a equação de Jobson (1980), Linacre (1993) e Penman (Xu 2000). A avaliação do desempenho foi realizada por meio do índice de precisão "r", do índice de exatidão "d", e de confiança ou desempenho "c". O método de Penman (Xu 2000) foi o que apresentou melhor desempenho em comparação com o método padrão mesmo subestimando um pouco o método padrão, contudo os métodos de Dalton (Gangopadhyaya 1966), Stelling (1892), a equação de Jobson (1980), Linacre (1993), também tenderam a subestimar o método padrão. No caso do método de Stelling (1892) o mesmo se comportou de maneira a superestimar o método padrão.

PALAVRAS-CHAVE: desempenho, variáveis climáticas, Penman

Comparison of evaporation estimation methods for the municipality of Mossoró-RN

Abstract: the objective of the present work the evaluation of five different methods of estimation of evaporation, and as a standard method for the evaluation of the method created by Penman-FAO (1948). The locale for data collection was the Federal Rural University of Semi-arid ATTENDED (5th 12 ' 03 "S, 37° 19 ' 36" W, 18 m), in the city of Mossoró-RN. The data were obtained by an automatic weather station installed inside the University Campus. The data used in the estimation of evaporation were collected daily in September 12, 2013 period to May 7, 2014. The registration system, type, Datalogger recorded maximum, medium and temperatures: minimum air, relative humidity maximum, average and minimum air, wind speed and solar radiation. The other input parameters for use in the equations were determined indirectly from the measured data. The methods used in this study were: Penman-FAO (1948) which was used as the standard method for the assessment of the other, Dalton (Gangopadhyaya 1966), Stelling (1892), the equation of Jobson (1980), Linacre (1993) and Penman (Xu 2000). The benchmarking was performed through accurate index "r", accuracy index "d" and reliable or performance "c". The Penman method (Xu 2000) was what showed best performance compared to the

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

default method even underestimating slightly the standard method, however the Dalton methods (Gangopadhyaya 1966), Stelling (1892), the equation of Jobson (1980), Linacre (1993), also tended to underestimate the standard method. In the case of the Stelling (1892) the same behaved way to overestimate the default method.

KEY WORDS: performance, climate variables, Penman.

INTRODUÇÃO

Em termos gerais a evaporação é o fenômeno pelo qual uma substância, que se apresenta na fase líquida, é convertida à fase de vapor. O fenômeno evaporativo envolve, em simultâneo, processos de troca de calor e de massa entre a superfície evaporante e a sua vizinhança. Por isso, a evaporação é, geralmente, caracterizada pela perda de um líquido em resultado da sua vaporização. Em termos continentais, as massas de água constituinte de superfícies livres dependem diretamente dos fatores climáticos e meteorológicos de cada região. Por outro lado, a evaporação é também um processo de arrefecimento que envolve transferências de massa e calor na interface água-ar. Pode, por isso, ser avaliado tanto por equações de transferência de massa como de troca de energia. Para além dos fenômenos radiativos e da transferência de calor sensível, a evaporação é uma das causas das diferenças entre as temperaturas superficiais e subsuperficiais da água. Por outro lado, a própria evaporação é condicionada pela temperatura da água. (RODRIGUES 2009)

Diante de todos esses pontos, em um clima como o da região de Mossoró, que tem características bem peculiares do clima semi-árido nordestino, verificou-se a necessidade de se avaliar a taxa de evaporação nessas condições climáticas. Em função da dificuldade em se obter dados climáticos na região, o objetivo principal desse trabalho foi testar cinco métodos para estimativa da lâmina de evaporação nas condições climáticas de Mossoró-RN.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram coletados pela estação meteorológica pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido, em Mossoró-RN, cujas coordenadas geográficas são: latitude 5° 12' 48" S, longitude 37° 18' 44" W. Grw. e altitude de 37 m. Segundo W. KÖEPPEN, citado por CARMO FILHO et al. (1991), a classificação climática local, é do tipo Bsw^h, ou seja, clima seco e quente com as maiores precipitações no verão atrasando-se para o outono. Pela classificação de W. C. THORNTHWAITE o clima de Mossoró é do tipo DdA'a', ou seja semi-árido, megatérmico com pequeno ou nenhum excesso de água durante o ano (IZÍDIO, 1994).

Foram utilizados dados diários de temperatura média, máxima e mínima, umidade relativa máxima e mínima, radiação solar global, precipitação pluviométrica e velocidade do vento, coletados no período de 12 de setembro de 2013 a 07 de maio de 2014. Os demais parâmetros de entrada para uso nas equações foram determinados indiretamente a partir dos dados medidos. O método utilizado como padrão foi o de PENMAN FAO (1948).

$$E_L = \frac{\frac{s \cdot R_n}{L} + \gamma \cdot E_p}{s + \gamma} \quad (1)$$

Em que: R_n é o saldo de radiação sobre a água livre ($\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$); s é o coeficiente angular da curva de pressão de saturação ($\text{hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); γ é o parâmetro psicrométrico ($\text{hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); E_p é o poder

evaporante da superfície. O coeficiente angular da curva de pressão de saturação (s) foi calculado pela expressão:

$$S = 33,3639. [0,05904 (0,00738. T_a + 0,08072)^7 - 3,42. 10^{-5}] \quad (2)$$

Em que T_a é a temperatura do ar, em °C. Para obtenção de E_a adotou-se:

$$E_a = f(U_2). (e_s - e_a) \quad (3)$$

Em que: U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura, em km d^{-1} ; e_s é a pressão de saturação (hPa); e é a pressão parcial de vapor (hPa). Conforme DOORENBOS & PRUITT (1977) $f(U)$ é expresso por:

$$f(U_2) = 0,27. \left(1 + \frac{U}{100}\right) \quad (4)$$

A equação de LINACRE (1993) para estimar a evaporação da superfície livre é:

$$E_L = (0,015 + 0,00042T + 10^{-6}z). [0,8.R_s - 40 + 2,5.F.U.(T - T_d)] \quad (1)$$

Em que: E_L é a evaporação (mm d^{-1}); T é a temperatura média diária do ar (°C) obtida pela média dos valores extremos diários; z é a altitude do local (m); R_s é a irradiância solar na superfície do lago (W m^{-2}); $F = 1,0 - 8,7 \times 10^{-5}z$ é o fator de correção devido a altitude do local; u é a velocidade média do vento (m s^{-1}) tomada a 2 m de altura da superfície e T_d é a temperatura do ponto de orvalho (°C).

A Primeira equação para estimativa da evaporação de água em uma superfície líquida, foi proposta por DALTON 1802 (GANGOPADHYAYA et. al. 1966) em função da diferença parcial de vapor na temperatura da superfície líquida (e_s) e a média do ar (e_a) e de um coeficiente de ajuste K , que também é função de (u_2) velocidade do vento a 2m no caso do cálculo proposto.

$$E_L = K. (1 + 1,07 U_2). (e_s - e_a) \quad (1)$$

Onde se pode usar o valor de K , 0,13 para superfícies grandes, 0,14 para superfícies de tamanho médio e 0,15 para superfícies de tamanho pequeno. No estudo utilizou-se 0,15, valor esse estipulado para superfícies pequenas.

Segundo o método de transferência de massa de Penman 1948 modificado por XU em 2000, pode-se estimar a evaporação em mm.dia^{-1} de uma superfície livre baseado na umidade relativa do ar, umidade de saturação bem como da velocidade do vento a 2m de altura.

$$E_L = 0,35. (1 + 0,24. U_2). (e_s - e_a) \quad (1)$$

Sendo: E_L = evaporação da superfície livre (mm/dia) e_s =
 pressão de saturação do ar (mb), para tanto utilizou-se a temperatura média de cada dia.
 e_a = pressão atual de vapor de água a temperatura ambiente (mb), e para tanto utilizou-se a temperatura do bulbo úmido de cada dia. U_2 =
 velocidade do vento a 2m de altura (m/s).

Outra equação usada no estudo foi a de JOBSON (1980), utilizada no estudo para superfícies livres.

Sendo que no caso da equação de Jobson os valores de e_s e e_a são usados em kPa.

Por fim, a equação de STELLING (1892) que engloba duas outras equações a de Dalton e a de Weilenmann:

$$E_L = (a + b \cdot U_2) \cdot (e_s - e_a) \quad (1)$$

Esta equação com diversos valores das constantes empíricas a e b é, ainda hoje, uma das mais utilizadas em estudos de evaporação. Para esse caso foram utilizados os valores de $a = 0,24$ e $b = 0,59$ que são valores ditos como médios, o valor de U_2 é dado pela velocidade do vento a 2m.

A análise comparativa entre o método padrão e os avaliados, foi baseada em regressão linear, onde a variável dependente foi considerada a E_L do método padrão e a independente a E_L dos métodos avaliados, e os seguintes índices estatísticos de comparação sugeridos CAMARGO E SENTELHAS (1997): o grau de precisão foi obtido por meio do coeficiente de correlação “ r ” (Equação 1), a exatidão foi avaliada pelo índice de Willmott “ d ” (Equação 2) e o desempenho pelo indicador “ c ”. Sendo c obtido pelo produto de $d \cdot r$. Onde os valores de c são classificados conforme a Tabela 1.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O) \cdot (P_i - P)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P)^2}} \quad (1)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (2)$$

Sendo: P_i o valor estimado; P a média dos valores estimados; O_i o valor observado e O é a média dos valores observados.

A verificação dos erros proporcionados pelas estimativas foi realizada pelo cálculo do erro padrão da estimativa (EPE) conforme JENSEN, BURMAN E ALLEN (1990).

$$EPE = \left[\frac{\sum (Y - Y_m)^2}{n-1} \right] \quad (3)$$

Sendo: Y a evaporação estimada pelo método avaliado ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); Y_m evaporação estimada pelo método Penman FAO (1948) ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); e n no número total de observações.

Tabela 1. Valores dos coeficientes de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da estimativa da evaporação pelos métodos descritos, procurou-se identificar uma equação que melhor se ajustasse ao método de FAO Penman (1948), para o município de Mossoró-RN. Na Tabela 1 estão contidos os intervalos entre os valores do coeficiente de desempenho ‘c’ bem com a classificação desses valores.

Os valores de c, d, r e o erro padrão de estimativa EPE para cada método avaliado estão relacionados na Tabela 2. Verifica-se que, o método de Stelling (1892) superestimou em 29,64% a evaporação em comparação com o método Padrão. Todos os outros métodos subestimaram o método padrão. Em relação ao coeficiente de correlação r, pode-se notar que o único método que apresentou uma correlação a baixo da media dos demais métodos utilizados foi o método de Linacre (1993). Em relação a índice de exatidão e de desempenho pode-se obter o método de Penman 1948 (Xu 2000), como o método com os maiores valores, já em relação ao EPE podemos ter o método de Dalton 1802 (Gangopadhyaya 1966) como os valor mais elevado e o método de Penman 1948 (Xu 2000) como o valor mais baixo, portanto o método de Penman (Xu 2000) foi assim considerado de acordo com os parâmetros avaliados o método com o melhor desempenho, sendo classificado como ótimo.

Tabela 2. Valores de coeficiente de correlação, índices de exatidão, coeficientes de desempenho e erro padrão de estimativa em Mossoró-RN de 12 de setembro de 2013 a 07 de maio de 2014.

Equações	%	r	d	c	EPE (mm.dia ⁻¹)	Desempenho
Dalton 1802 (Gangopadhyaya 1966)	61,16	0,97	0,63	0,61	1,94	Mediano
Stelling (1892)	129,64	0,98	0,79	0,77	1,45	Muito Bom
Jobson (1980)	88,10	0,97	0,72	0,70	1,05	Bom
Linacre (1993)	83,32	0,60	0,69	0,42	1,29	Mau
Penman 1948 (Xu 2000)	85,53	0,98	0,88	0,87	0,82	Ótimo

CONCLUSÕES

A partir dos métodos avaliados podemos inferir que: o que mais se aproximou do método padrão foi o método de Penman 1948 (Xu 2000) tendo de acordo com o coeficiente de desempenho ‘c’ uma classificação tida como ótima, podendo ser utilizado para cálculos de evaporação de superfícies livres na região estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1. p. 89-97, 1997.
- RODRIGUES, C. M. M. **Cálculo da evaporação de albufeiras de grande regularização do sul de Portugal.** Universidade de Évora, 2009. Dissertação de Mestrado.
- CARMO FILHO, F. do; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MAIA NETO, J. M. **Dados meteorológicos de Mossoró (janeiro de 1988 a dezembro de 1990).** Mossoró: ESAM, 1991. v. 4, 470 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and drainage paper, 24).
- FICKE, J. F. (1972). **Comparison of evaporation computation methods, Pretty Lake.** Professional Paper 686-A, U.S. Geological Survey, 48 p.
- GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G. E.; NORDENSON, T. J.; OMAR, M. H.; URYVAEV, V. A. **Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration.** Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 121p. Technical Note n.83, WMO-No.201, TP 105.
- IZÍDIO, L. R. **Determinação dos parâmetros “a” e “b” da equação de Angstron, para estimativa da irradiação solar global em Mossoró. RN.** 1994. Monografia (Graduação em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia de Mossoró, Rio Grande do Norte.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements.** New York: ASCE, 1990. 332 p.
- LINACRE, E. T. (1993). **Data-sparse estimation of lake evaporation, using a simplified Penman equation.** Agricultural and Forest Meteorology, 64(3-4), 237-256.
- PENMAN, H. L. (1948). **Natural evaporation from open water, bare soil and grass.** Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 193(1032), 120-145.
- USEPA. **Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling,** 2a ed, junho de 1985.
- Xu, C. Y e Singh, V. P. (2000). **Evaluation and generalization of radiation-based methods for calculating evaporation.** Hydrological Processes, 14, 339-349.