



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 para estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Mossoró-RN¹



Anna Kézia Soares de Oliveira²; Isaac Alves da Silva Freitas³; Edmilson Gomes Cavalcante Júnior⁴; Tecla Ticiane Félix da Silva⁵; José Espínola Sobrinho⁶

¹ Trabalho destinado a apresentação no XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

² Graduanda em Agronomia, Bolsista PIBIC/Cnpq, UFERSA, Mossoró-RN, Fone: (84)8104-8044, annakezia@outlook.com

³ Graduando em Agronomia, UFERSA, Mossoró-RN, isaacntn@outlook.com

⁴ Doutorando, PPMSA/UFERSA, UFERSA, Mossoró-RN, ediguatu@yahoo.com.br

⁵ Graduanda em Agronomia, Bolsista PIBIC/Cnpq, UFERSA, Mossoró-RN, teclaticiane12@hotmail.com

⁶ Agrônomo, Prof. Titular, Depto. DCAT, UFERSA, Mossoró-RN, jespinoia@ufersa.edu.br

RESUMO: Objetivou-se com o presente trabalho avaliar métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para o município Mossoró-RN, usando o método de Penman Monteith-FAO 56 como referência. Foram utilizados dados de uma estação meteorológica pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido em Mossoró-RN referentes ao período de 12 de setembro de 2013 a 07 de maio de 2014. Utilizou-se dados diários de temperatura média, máxima e mínima, umidade relativa máxima e mínima, radiação solar, precipitação e velocidade do vento. Por meio do programa REF-ET versão 2.01.17, foram feitas as estimativas da ET_o pelos seguintes métodos: FAO24-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977), Priestley-Taylor (1972), Turc (1961), Makkink (1957), Benevides-Lopez (1970) e Kimberly Penman (Wright, 1972). A avaliação do desempenho foi realizada por meio do índice de precisão “r”, um índice de exatidão “d”, e de confiança ou desempenho “c”. Os métodos de Kimberly Penman (Wright, 1972) e FAO24-Blaney-Criddle (1977) tiveram ótima correlação em comparação com o método padrão. As equações Priestley-Taylor (1972), Makkink (1957), Turc (1961) e Kimberly Penman (Wright, 1972), subestimaram a ET_o, contudo Kimberly Penman (Wright, 1972) foi o que mais se aproximou do método padrão. Já os métodos de FAO24-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977), Benevides-Lopez (1970) tenderam a superestimar o método padrão. Os métodos FAO24-Blaney-Criddle (1977) e Kimberly Penman (Wright, 1972), apresentaram melhor desempenho entre os avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: Variáveis climáticas, ref-et, Penman-Monteith (FAO-56).

Comparison of methods for estimating the evapotranspiration of Reference for the city of Mossoró-RN

ABSTRACT: The objective of this work to evaluate methods of estimation of the reference evapotranspiration (ET_o) for the municipality Mossoró-RN, using the Penman method Monteith-FAO 56 as a reference. We used data from a weather station belonging to the Federal Rural University of Semi-arid in Mossoró-RN for the period of September 12, 2013 to May 7, 2014. Using daily data of temperature, maximum and minimum average, maximum and minimum relative humidity, solar radiation, precipitation and wind speed. Through the program-ET 2.01.17, version REF were made ET_o estimates of the following methods: FAO24-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977), Priestley-Taylor (1972), Turc (1961), Makkink (1957), Bala-Lopez (1970) and Kimberly Penman (Wright, 1972). The benchmarking was performed through accurate index "r", an index of accuracy "d" and reliable or performance "c". The methods of Kimberly Penman (Wright, 1972) and FAO24-Blaney-Criddle (1977) had great correlation compared to the standard method. Priestley's equations-Taylor (1972), Makkink (1957), Turc (1961) and Kimberly Penman (Wright, 1972), underestimated the ET_o, however Kimberly Penman (Wright, 1972) was the closest of the standard method. And FAO24 methods-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977), Bala-Lopez (1970) tended to overestimate the default method. The FAO24



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

methods-Blaney-Criddle (1977) and Kimberly Penman (Wright, 1972), presented the best performance among the evaluated.

KEY WORDS: climatic variables, ref-et, Penman-Monteith-FAO 56

INTRODUÇÃO

O conhecimento das necessidades hídricas das culturas é de grande importância para o estudo do manejo da água de irrigação. A evapotranspiração é uma das principais variáveis do ciclo hidrológico. A taxa de evapotranspiração refere-se à transferência de água para a atmosfera, da superfície do solo e das plantas pela combinação da evaporação com a transpiração (SEDIYAMA, 1998).

Segundo ALLEN et al. (1998), vários são os métodos empíricos criados, por vários cientistas e pesquisadores, para determinação da ET utilizando diferentes elementos climáticos. No entanto, tais métodos somente estimam de forma satisfatória a evapotranspiração nas condições de clima em que são desenvolvidos, e quando utilizados em condições diferentes podem proporcionar grandes erros e gerar grandes perdas nas produções ou desperdício de recursos hídricos. Com isso, a FAO observou a necessidade de se obter um método padrão que se adaptasse a diferentes localidades e climas, criando o método Penman-Monteith FAO 56 (PM FAO-56) que foi derivado da equação original de Penman (1948).

A proposta deste trabalho foi avaliar o comportamento de diferentes equações empíricas na estimativa da ETo, no município de Mossoró-RN, tendo como padrão o método Penman-Monteith FAO 56.

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 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 BswH', 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, precipitação e velocidade do vento, coletados de 12 de setembro de 2013 a 07 de maio de 2014. Por meio do programa REF-ET versão 2.01.17, desenvolvido por Allen (2001) foram feitas as estimativas da ETo pelos seguintes métodos: Kimberly Penman (Wright, 1972), FAO24-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977), Priestley-Taylor (1972), Turc (1961), Makkink (1957), Benevides-Lopez (1970).

O método Penman-Montheith FAO 56 foi considerado como padrão, para análise dos demais métodos (Equação 1).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Onde: Δ : declividade da curva de pressão de vapor no ponto de temperatura média ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$); R_n : radiação solar líquida total do gramado ($MJ \text{ m}^{-2}d^{-1}$); G : fluxo de calor no solo ($MJ \text{ m}^{-2}d^{-1}$); γ : constante psicrométrica ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$); e_s : pressão de saturação do vapor médio diário (kPa); e_a : Pressão atual de

vapor médio diário (kPa); u_2 : velocidade do vento média diária a 2m de altura ($m\ s^{-1}$); e T_a : temperatura média do ar ($^{\circ}C$).

A análise comparativa entre o método padrão e os avaliados, foi baseada em regressão linear, onde a variável dependente foi considerada a ET_o do método padrão e a independente a ET_o dos métodos avaliados, e os seguintes índices estatísticos de comparação sugeridos por CAMARGO E SENTELHAS (1997): o grau de precisão foi obtido por meio do coeficiente de correlação “r” (Equação 2), a exatidão foi avaliada pelo índice de Willmott “d” (Equação 3) e o desempenho pelo indicador “c”. Sendo c obtido pelo produto de $d * r$. Onde os valores de c são classificados conforme a Tabela 1.

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

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (3)$$

Sendo: P_i o valor estimado; P a média do valor estimado; 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).

$$EPE = \left[\frac{\sum (Y - Y_m)^2}{n-1} \right] \quad (4)$$

Sendo: Y a evapotranspiração estimada pelo método avaliado ($mm.dia^{-1}$); Y_m evapotranspiração estimada pelo método PM FAO 56 ($mm.dia^{-1}$); e n o 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
$\leq 0,40$	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da estimativa da ET_o pelos métodos descritos, procurou-se identificar uma equação que melhor se ajustasse ao método de Penman-Monteith FAO 56 e que envolvesse uma quantidade menor de parâmetros nos cálculos, de modo a se obter de forma mais simples a ET_o para o município de Mossoró-RN.

Os valores de c, d, r e o erro padrão de estimativa EPE para cada método aplicado, estão relacionados na Tabela 2. Verifica-se que, o EPE para os diferentes modelos avaliados, com base nos valores ET_o , apresentaram uma variação de 0,09 a 0,50 $mm.d^{-1}$, com o menor valor para Kimberly Penman (Wright, 1972) e os maiores valores, para os métodos de Priestley-Taylor 1972 e Benevides-Lopez 1970.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Os métodos FAO24-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977) e Benevides-Lopez 1970, superestimaram em 5,72 e 34,78% respectivamente a ETo em comparação com o método Padrão. Apesar da superestimação o método FAO24-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977) demonstrou ser bastante preciso ($r= 0,98$) obtendo um desempenho considerado ótimo ($c= 0,94$). O método de Makkink (1957) foi o que mais subestimou a ETo em 27,16%. Essa subestimativa também foi encontrada por TURCO (2005), o que é explicado pelo fato de que esse método foi desenvolvido em regiões frias, ocasionando subestimativa quando usado em regiões quentes.

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
Priestley-Taylor 1972	94,38	0,80	0,85	0,68	0,50	Bom
FAO24-Blaney-Cliddle	105,72	0,98	0,96	0,94	0,18	Ótimo
Turc 1961	88,96	0,82	0,81	0,66	0,48	Bom
Makkink 1957	72,84	0,86	0,59	0,50	0,43	Mau
Benevides-Lopez 1970	134,78	0,81	0,47	0,38	0,50	Péssimo
Kimberly-Penman 1972	99,86	0,99	1,00	0,99	0,09	Ótimo

Na Figura 1 estão apresentados os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear, considerando os métodos de estimativa utilizados. Aos Gráficos foi adicionada uma linha ao meio, a fim de auxiliar a verificação de quando um método sub ou superestima o método padrão. Nota-se que os métodos avaliados, em relação à Penman-Monteith FAO, que mostraram ótima correlação e menores erros padrão de estimativa foram Kimberly Penman (Wright, 1972) e FAO24-Blaney-Criddle (1977). O bom resultado do método FAO24-Blaney & Criddle é explicado devido ao fato do mesmo ter sido desenvolvido em regiões áridas dos Estados Unidos, se ajustando assim as condições climáticas da região em estudo. CARVALHO et al (2006).

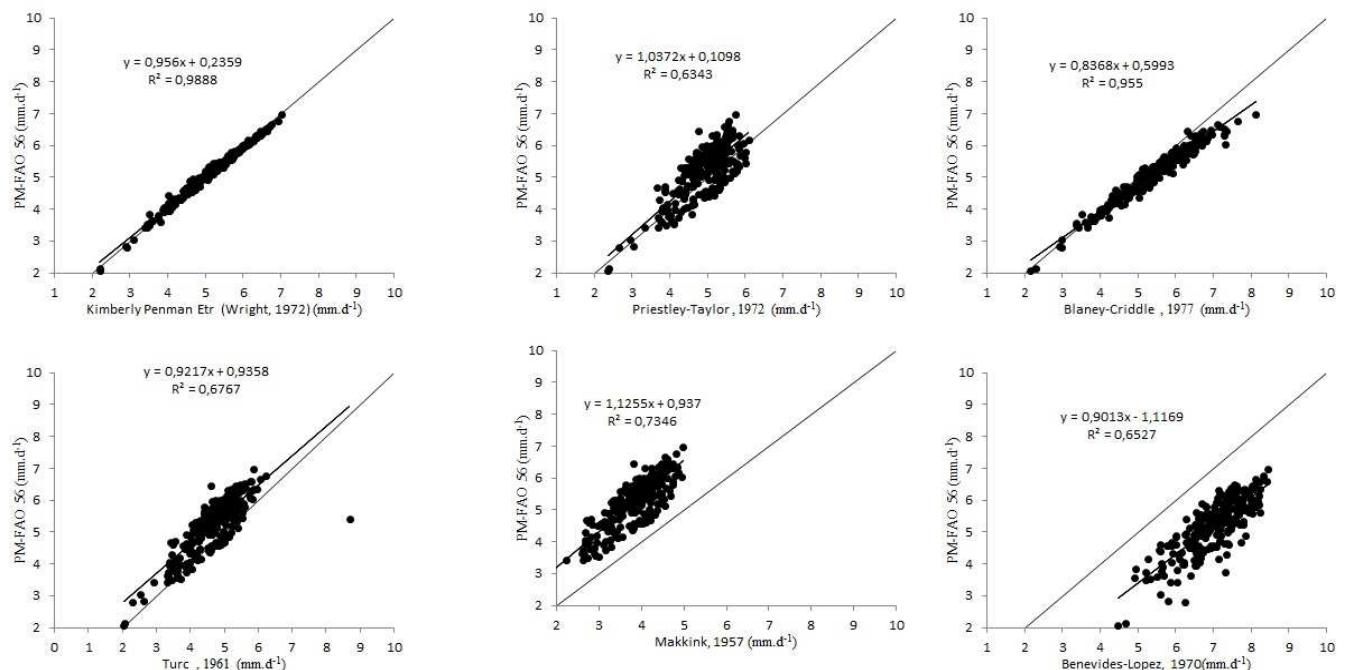


Figura 1. Relação entre a evapotranspiração de referência estimada por diferentes métodos e o método Penman-Monteith FAO 56, em Mossoró-RN de 12 de setembro de 2013 a 07 de maio de 2014.



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

Os métodos que apresentaram resultados satisfatórios para o período estudado foram FAO24-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977) e Kimberly Penman (Wright, 1972), classificados como ótimos de acordo com o coeficiente de desempenho. O método da FAO24-Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977) apresenta grande praticidade, pois requer somente dados de temperatura do ar e algumas informações médias do clima, sendo adequado para estimativas mensais de ETo. CAVALCANTE et al. (2010), obtiveram resultados semelhantes, quando avaliaram diferentes metodologias de determinação da ETo em 2010 para Mossoró-RN, onde os dois métodos também obtiveram desempenho ótimo.

CONCLUSÕES

De todos os métodos estudados dois deles: FAO24-Blaney-Criddle 1977e Kimberly Penman (Wright, 1972), apresentaram ótimo desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência podendo ser recomendados para o uso nos projetos de irrigação na região, uma vez que seus resultados apresentaram uma satisfatória correlação com o método padrão, Penman-Montheith FAO 56.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. **REF-ET: reference evapotranspiration calculator, Version 2.1**. Idaho: Idaho University, 2001. 82 p. (Software).
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BENEVIDES, J. G.; LOPEZ, D. **Formula para el caculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N - 15° S)**. Agronomia Tropical, Maracay, v. 20, n. 5, p. 335-345, 1970.
- 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.
- 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.
- CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI., M.V. COSTA, J.R., CRUZ,F.AA. **Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica – RJ, utilizando lisímetro de pesagem**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, RS, v. 14, n.2, p. 187-195. 2006.
- CAVALCANTE JUNIOR, Edmilson Gomes et al. **Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró-RN**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.4, n.2, p.87–92, 2010.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and drainage paper, 24).
- 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.



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



JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements.** New York: ASCE, 1990. 332 p.

MAKKINK, G. F. **Testing the Penman formula by means of lysimeters.** Journal of the Institution of Water Engineers, v. 11, n. 3, p. 277-288. 1957.

PENMAN, H. L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass.** Proceedings of Royal Society-Series A, London, v. 193, p. 120-145, 1948.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. **On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters.** Monthly Weather Review, Madson, v. 100, p. 81- 92, 1972.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. **On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters.** Monthly Weather Rev., Boston, v. 100, n. 2, p. 81-92, 1972.

SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. **Relações clima-água-plantas.** In: FARIA, M. A. (Ed.) et. al. Manejo da Irrigação. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. cap. 2, p. 46-85.

TURC, L. **Estimation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise.** Journal Annual Agronomic. v. 12, n. 1, p.13-49. 1961.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. P. **Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

WRIGHT, J. L.; JENSEN, M. E. **Peak water requirements of crops in Southern Idaho.** Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE, New York, v. 96, n. 1, p. 193- 201, 1972.