

USO DO PERCENTUAL DE ERRO RELATIVO DA MÉDIA ABSOLUTA NA COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Carnevskis, Elizabeth Lima¹, Fernando Campos Mendonça²

¹ Mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, (55 11) 97373-1009, elizabeth.carnevskis@usp.br

² Prof. Dr., Depto. de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, (55 19) 98159-1613, fernando.mendonca@usp.br

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

RESUMO: Embora o método de Penman-Monteith - FAO-56(PM-FAO 56) seja comprovadamente o melhor para estimativas de evapotranspiração de referência (ET_o), nem sempre há dados suficientes para utilizá-lo em todas as localidades. É interessante verificar se é possível utilizar métodos de estimativa de ET_o com menor número de variáveis meteorológicas. Para tanto, utiliza-se o teste desenvolvido por Camargo e Sentelhas (1997). Entretanto, um estudo recente indicou que esse teste pode não ser suficiente para selecionar o modelo mais adequado. Este trabalho objetivou verificar quais modelos levam às melhores estimativas de ET_o. Para isto, utilizaram-se os dados da estação meteorológica da ESALQ/USP, em Piracicaba, SP, verificando se há, ou não, um modelo único que pode ser utilizado nesta localidade. Tomando o método PM-FAO56 como referência, os resultados foram comparados por meio dos índices estatísticos: precisão R², raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME), erro relativo médio (ERM), índice c e d, e erro percentual relativo da média absoluta (PMARE). Esses índices foram utilizados para indicar os modelos mais adequados para essa localidade. Dentre os índices, o que apresentou melhor desempenho foi o PMARE.

PALAVRAS-CHAVE: EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA, COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS, ÍNDICES DE DESEMPENHO.

PERCENT MEAN RELATIVE ABSOLUTE ERROR USE IN COMPARISON EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE METHODS

ABSTRACT: Although the Penman-Monteith-FAO 56 (PM-FAO 56) be proven the best method for reference evapotranspiration estimates (ET_o), there is not always enough data to use it in all locations. Therefore, it is interesting to verify the possibility of using other ET_o estimating method with less of meteorological variables. To do so, one uses the test developed by Camargo and Sentelhas (1997). However, a recent study indicated that this test may not be enough to select the best model. This study aimed to verify which models lead to better ET_o estimates. The data from the ESALQ/USP weather station, Piracicaba, SP, were used to check to if there is, or not, a single model that can be used in this place. Taking the PM-FAO 56 method as the reference, the results were compared by the following statistical ratios: R², root mean square error (RMSE), relative mean error (RME), c e d index, and the percent mean relative absolute error (PMARE). These were used to indicate the most appropriate models for this location. Among the indexes, the best performance was obtained by the PMARE.

KEYWORDS: REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION, ESTIMATES COMPARISON, PERFORMANCE INDICES.

INTRODUÇÃO: A estimativa do consumo de água das culturas por meio da evapotranspiração é de suma importância para um bom manejo de irrigação. A evapotranspiração pode ser obtida de duas maneiras: direta, por meio de sua medição em lisímetros, ou indireta, a partir de fórmulas teóricas ou empíricas, utilizando dados climáticos.

De acordo com Medeiros *et al.* (2002), diversos trabalhos mostram que o método Penman-Monteith - FAO56 para a estimativa de ET_o tem um desempenho satisfatório, em comparação com medidas lisimétricas (ALLEN *et al.*, 1989; JENSEN *et al.*, 1990; CAMARGO & SENTELHAS,

1997). Entretanto, há vários casos em que nem todas as variáveis contidas na equação de Penman-Monteith estão disponíveis. Assim, é necessário o uso de métodos que utilizem um menor número de variáveis meteorológicas, bem como fazer a escolha dos métodos mais adequados a cada condição climática.

Para uma boa escolha é necessário o uso de índices de desempenho e para saber qual que apresenta os melhores valores, foram testados alguns deles com dados estimados de evapotranspiração de referência (ET_o) calculada a partir da série histórica pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ).

O índice de precisão (R²) é um dos indicativos de desempenho mais utilizados (Yorukogly & Celik, 2006). Entretanto, é necessário utilizar outros parâmetros de avaliação para análise do grau de dispersão entre os valores estimados, subestimados e superestimados e seu grau de precisão (Jacovides & Kontoyiannis, 1995). Entre os mais utilizados estão a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME), o erro relativo médio (ERM) e os índices *c* (Camargo e Sentelhas, 1997) e *d* (Willmott, 1985). Ao usar o RQME, quanto menor seu valor, melhor o desempenho. O ERM mostra se há superestimação de dados pelo modelo (valores positivos) ou subestimação (valores negativos) (Jacovides & Kontoyiannis, 1995). O índice de exatidão *d* de Willmott é utilizado para verificar o grau de afastamento entre os valores observados e os estimados (Willmott, 1985).

A utilização desses indicativos em conjunto pode ser considerada uma boa alternativa para avaliação de modelos estatísticos, por permitir uma análise simultânea do desvio da média identificando a ocorrência de subestimativas, superestimativas, espalhamento e ajuste do modelo com relação às medidas tomadas. (Souza & Escobedo, 2013).

Outro teste muito utilizado é o desenvolvido por Camargo e Sentelhas (1997). Entretanto, um estudo recente (Ali e Abustan, 2014) indicou que esse teste pode não ser suficiente para selecionar o modelo mais adequado. Por isso, os autores sugeriram o uso do erro percentual relativo da média absoluta (PMARE), a fim de verificar qual (is) índice(s) leva(m) a melhores decisões na escolha do método de estimativa de ET_o.

MATERIAL E MÉTODOS: No trabalho foram utilizados os dados de 30 anos da estação convencional da ESALQ e foram testados os seguintes métodos: (Thorthwaite 1948; Camargo 1971; Hargreaves & Samani 1982; Priestley-Taylor 1972; Jansen-Haise 1963; Makkink 1958; Fao-Blaney-Cridle 1950; Hamon 1960; Kharrufa 1985; Ivanov 1973; Linacre 1997; Mc Guinness-Bordne 2005; Romanenko 1961; Turc 1961; Hansen 1984; Caprio 1974; Radiação Solar 1997; Holdridge 1959) (ALMEIDA *et al*, 2010; BORGES *et al*, 2007, CAVALCANTE *et al*, 2010 e GONÇALVES *et al*, 2010; TANAKA 2013).

Tomando o método PM-FAO56 como referência, os resultados foram comparados por meio dos seguintes índices estatísticos: precisão (R²), raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME), erro relativo médio (ERM), índice *c* (Camargo e Sentelhas, 1997) e *d* (Willmott, 1985), e erro percentual relativo da média absoluta (PMARE), que consiste em:

$$PMARE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(O_i - P_i)|}{O_i} \quad (1)$$

A Tabela 1, abaixo, indica qual é o desempenho do índice em comparação com o valor em porcentagem.

Tabela 1: Desempenho em função da porcentagem

PMARE (%)	Classificação do modelo
0-5	Excelente (E)
5-10	Muito bom (MB)
10-15	Bom (B)
15-20	Razoável (R)
20-25	Moderado (Mo)
>25	Insatisfatório (I)

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos índices de desempenho para os métodos de estimativa de ET_o.

Tabela 2: Desempenho dos indicadores estatísticos para cada um dos métodos de estimativa de ET_o.

Métodos	EM	Classe	RMS E	Classe	R ²	Classe	C	Classe	D	Classe	Pmare	Classe
Blaney-Criddle	-1,728	Mediano	2,432	Sofrível	0,063	Bom	-0,103	Péssimo	0,410	Mau	3,335	Excelente
Hargreaves	6,137	Péssimo	6,643	Péssimo	0,024	Bom	0,060	Péssimo	0,392	Péssimo	57,218	Insatisfatório
Camargo	-0,542	Ótimo	1,509	Bom	0,026	Bom	0,072	Péssimo	0,449	Mau	7,379	Muito bom
Thornthwaite	-0,415	Ótimo	1,033	Bom	0,087	Bom	0,159	Péssimo	0,541	Sofrível	5,220	Muito bom
Hamon	-3,567	Mau	3,666	Mau	0,011	Bom	-0,014	Péssimo	0,137	Péssimo	15,394	Razoável
Kharrufa	0,194	Ótimo	1,425	Bom	0,015	Bom	-0,042	Péssimo	0,347	Péssimo	13,458	Bom
Jansen-Haise	5,644	Péssimo	6,252	Péssimo	0,019	Bom	0,056	Péssimo	0,410	Mau	53,304	Insatisfatório
Ivanov	-1,856	Mediano	1,915	Mediano	0,601	Bom	0,330	Péssimo	0,426	Mau	11,196	Bom
Priestley-Taylor	2,470	Sofrível	2,763	Sofrível	0,107	Bom	0,142	Péssimo	0,433	Mau	24,609	Moderado
Makkink	3,759	Mau	4,024	Péssimo	0,115	Bom	0,131	Péssimo	0,388	Péssimo	33,429	Insatisfatório
Linacre	-1,259	Bom	1,4928	Bom	0,027	Bom	0,053	Péssimo	0,323	Péssimo	1,802	Excelente
McGuinness-Bordne	0,528	Ótimo	1,8917	Mediano	0,002	Bom	-0,018	Péssimo	0,382	Péssimo	19,326	Razoável
Romanenko	5,568	Péssimo	5,8606	Péssimo	0,348	Bom	0,231	Péssimo	0,391	Péssimo	22,046	Moderado
Turc	-1,624	Mediano	1,8488	Mediano	0,039	Bom	0,073	Péssimo	0,371	Péssimo	2,637	Excelente
Holdridge	-1,477	Bom	2,6286	Sofrível	0,312	Bom	-0,178	Péssimo	0,318	Péssimo	2,064	Excelente
Radiação Solar	9,060	Péssimo	9,3769	Péssimo	0,192	Bom	0,140	Péssimo	0,320	Péssimo	65,719	Insatisfatório
Hansen	-0,894	Bom	1,2212	Bom	0,115	Bom	0,168	Péssimo	0,496	Mau	1,478	Excelente
Caprio	-0,881	Bom	1,5241	Bom	0,016	Bom	0,058	Péssimo	0,462	Mau	4,609	Excelente

Pelos resultados do índice ERM, observa-se que os métodos de Hargreaves, Kharrufa, Jansen-Haise, Priestley-Taylor, Makkink, McGuinness-Bourdne, Romanenko e Radiação Solar geraram dados superestimados. Entretanto, deve-se relevar o valor obtido, pois o ERM dos métodos de Kharrufa (0,1936) e McGuinness-Bourdne (0,5280) apresentam valores pouco superestimados. Já o ERM dos métodos de Hargreaves (6,1373) e Radiação Solar (9,0599) apresentaram valores de superestimação bem mais elevados. Os demais métodos resultaram em dados subestimados, mas também neste caso é necessário levar em conta os valores encontrados; enquanto os valores de ERM para os métodos de Thornthwaite (-0,4145) e Camargo (-0,5424) não são altos, e o método de Hamon (-3,5667) gerou valores muito subestimados.

O índice RMQE indica bom desempenho para os métodos de Thornthwaite (1,0330), Hansen (1,2212) e Kharrufa (1,4248); e um desempenho insatisfatório para os métodos da Radiação Solar (9,3769), Hargreaves (6,6426) e Jansen-Haise (6,2518).

Com relação aos índices R² e *c*, não foi possível uma avaliação devido ao fato de os valores de R² estarem na classe “bom” e os do índice *c* estarem todos na classe “péssimo”.

Por fim, seguindo os critérios estabelecidos por Ali et al (2014), os valores de PMARE para os métodos de Hansen (1,4784), Holdridge (2,0643) e Turc (2,6367) indicaram um excelente desempenho, e os métodos que apresentaram os piores desempenhos foram: Radiação Solar (65,7186), Hargreaves (57,2175) e Jansen-Haise (53,3044).

CONCLUSÕES: Os índices ERM, RQME, R² e *d* apresentam melhor desempenho quando utilizados em conjunto. Os valores de R² e *c* não tiveram representatividade para o conjunto de dados testados. O índice que apresentou a melhor representatividade, para esse caso, foi o PMARE.

REFERÊNCIAS:

- ALI, M.H.; ABUSTAN, I. A new novel index for evaluating model performance. *Journal of Natural Resources and Development*, v. 4, p. 1-9, 2014.
- ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L. *et al* Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, v.81, p.650-662, 1989

ALMEIDA, B. M.; ARAÚJO, E.M; CAVALCANTE JUNIOR, E.G; OLIVEIRA, J.B; NOGUEIRA, B. R.C. Comparação de métodos de estimativa da ETo na escala mensal em Fortaleza-CE **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.4, n.2, p.93–98, 2010

BORGES, A.C.; MENDIONDO, E.M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.11, n.3, p.293–300, 2007

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, PP 89-97, 1997.

CAVALCANTE JUNIOR, E.G; ALMEIDA, B.M; OLIVEIRA, A.D; SOBRINHO, J.E; ARAÚJO, E.M; VIEIRA, R.Y.M. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.2, p.87–92, 2010. ISSN 1982-7679 (On-line)

GONÇALVES, F.M.; FEITOSA, H.O.; CARVALHO, C.M.; GOMES, R.R.; VALNIR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v.3, n.2, p.71–77,ISSN 1982-7679. 2010

JACOVIDES, C. P.; KONTOYIANNIS, H. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. **Agricultural Water Management**, Auckland, v.27, p.365-371, 1995.

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

MEDEIROS, A. T. Estimativa de Evapotranspiração de Referência a partir da Equação de Penman-Monteith, de Medidas Lisimétricas e de Equações Empíricas em Paraipaba-CE. **Tese (Doutorado)**, Piracicaba, 2002. 103 p.

Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP; Departamento de Engenharia de Biosistemas; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo LEB - ESALQ – USP. Disponível em <<http://www.leb.esalq.usp.br/postocon.html>>. Acesso em 01/12/14.

SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F. Estimativas da radiação global incidente em superfícies inclinadas com base na razão de insolação. **Agrária**: Recife, v.8, n.3, p.483-491, 2013.

TANAKA, A.A. Avaliação de métodos de estimativa de radiação solar global e da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso. Tese (Doutorado). Botucatu, 2013, p. 19-83

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.

YORUKOGLU M, CELIK AN. A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 47, p. 2441–50, 2006.