

# **CORRELAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR TEMPERATURA COM O MÉTODO COMBINADO PADRÃO DA FAO**

FRANCISCO F. N. MARCUZZO<sup>1</sup>; RODRIGO L. MANZIONE<sup>2</sup>; EDSON WENDLAND<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador em Geociências, CPRM - Serviço Geológico do Brasil – Goiânia/GO. [fmarcuzzo@go.cprm.gov.br](mailto:fmarcuzzo@go.cprm.gov.br)

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Assistente Dr., UNESP/Ourinhos-SP - Av. Vitalina Marcusso, nº 1500, CEP 19910-206, Fone: (14) 3302-5700

<sup>3</sup> Eng. Civil, Prof. Associado Dr., Depto. de Hidráulica e Saneamento - EESC-USP/São Carlos-SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia  
22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

**RESUMO:** Pode-se examinar a validade de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial, para uma determinada região, comparando-os com o método combinado padrão da FAO, baseado na radiação e no balanço de massa. O objetivo deste trabalho foi analisar a correlação de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial por temperatura com o método combinado padrão FAO-Penman-Monteith para a região central do Estado de São Paulo. Os dados climatológicos foram coletados na Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, da Universidade de São Paulo, instalada no município de Itirapina/SP. Foi calculada a evapotranspiração potencial diária e mensal para cada método estudado e, em seguida, calculada a correlação diária de cada método com o método padrão da FAO, considerando os dias corridos de janeiro a dezembro do ano de 2008. Os resultados obtidos mostram a seguinte ordem decrescente de correlação, com o método padrão da FAO: Hargreaves-Samani (1982), Romanenko (1961), Linacre (1977), Kharrufa (1985), Blaney-Criddle (1950), Thornthwaite (1948) e Hamon (1961).

**PALAVRAS-CHAVE:** climatologia, FAO-Penman-Monteith, Thornthwaite.

## **CORRELATION OF METHODS TO EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE BASED ON TEMPERATURE WITH FAO STANDARD METHOD**

**ABSTRACT:** The validity of different methods to estimate potential evapotranspiration at a specific region can be evaluated comparing their results with FAO's combined standard method, based on radiation and mass balance. The aim of this work was to analyze the correlation of different methods to estimate potential evapotranspiration using temperature with the FAO-Penman-Monteith standard method for the central region of the State of São Paulo. The climatologic data were collected in the Climatologic Station of the Center for Water Resources and Applied Ecology, of the University of São Paulo, located at Itirapina/SP. The daily and monthly potential evapotranspiration was calculated for each method and compared to the results given by the FAO standard method. We considered the running days from January to December 2008. The results indicated the following decreasing correlation with the FAO-Penman-Monteith standard method: Hargreaves-Samani (1982), Romanenko (1961), Linacre (1977), Kharrufa (1985), Blaney-Criddle (1950), Thornthwaite (1948) e Hamon (1961).

**KEYWORDS:** climatology, FAO-Penman-Monteith, Thornthwaite.

**INTRODUÇÃO:** A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação (BERNARDO, 1995). Sua quantificação é realizada executando-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na “evapotranspiração” e na precipitação pluviométrica, seus principais componentes. Comumente, em estudos de balanço hídrico (SCOZZAFAVA & TALLINI, 2001), são empregados modelos teóricos para estimativa da evapotranspiração. Infelizmente, esses modelos teóricos foram desenvolvidos para o Hemisfério Norte, pressupondo condições de disponibilidade hídrica constante. Para regiões caracterizadas por períodos seco e chuvoso distintos e claramente definidos, esses métodos podem conduzir a erros grosseiros (CUNHA, 2003). Thornthwaite (1948) foi o pioneiro na definição da evapotranspiração potencial. Ele a definiu como sendo a perda de água para a atmosfera através de uma superfície natural coberta com vegetação nativa, sem restrição de água no solo. Quando uma das condições citadas não for atendida, tem-se a evapotranspiração real. Penman (1956), posteriormente, definiu a evapotranspiração potencial como a quantidade de água transferida para a atmosfera, na unidade de tempo, por uma cultura verde, de pequeno porte, em crescimento ativo e sem restrição hídrica. O processo físico de mudança de estado da água de líquido para vapor pode ser influenciado por qualquer fator climático e controlado pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica por vapor de água e pelo suprimento de água do solo às plantas (ALLEN *et al.*, 1998; PEREIRA *et al.*, 2002). Com isso, verifica-se que processos de estimativa de evapotranspiração que aglomeram a maior quantidade de fatores que interferem no processo tendem a ser mais eficazes. Consultores da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), revisando os métodos de estimativa de evapotranspiração, determinaram que o método FAO-Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998) pode ser utilizado como método padrão para estimativa da evapotranspiração potencial, por ser baseado em processos físicos, como o balanço de massa e a radiação, além de acrescentar parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos das plantas. Entretanto, o método FAO-Penman-Monteith requer uma grande quantidade de dados climatológicos, limitando sua aplicação em locais que não dispõem de uma estação climatológica completa, capaz de fornecer todos os dados necessários. Nesses casos ou na ausência temporária de alguns dados, pode-se utilizar outros métodos para a estimativa da evapotranspiração potencial, desde que estes possuam boa correlação com o método padrão recomendado pela FAO. Dentro do contexto apresentado, o objetivo deste trabalho foi analisar a correlação de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial baseadas na temperatura com o método combinado padrão da FAO-Penman-Monteith.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A coleta dos dados climatológicos (Tabela 1) ocorreu no ano de 2008, no município de Itirapina/SP, na estação climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, pertencente à Universidade de São Paulo, localizada na latitude 22°10'13,2"S e longitude 47°53'56,1" W e a uma altura de 733 metros acima do nível do mar. A vegetação predominante na região era o cerrado, com manchas de mata galeria nos solos mais úmidos. Atualmente, predominam o reflorestamento com *Pinus sp* e áreas de agricultura intensiva, principalmente com cana-de-açúcar e frutas cítricas. O clima da região é controlado pelas massas de ar equatorial e tropical com períodos seco (maio a outubro) e úmido (novembro a abril). Os dados climatológicos utilizados na estimativa da evapotranspiração (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, número de horas de insolação, radiação solar e evaporação do tanque classe A) foram coletados diariamente.

TABELA 1. Dados climatológicos mensais do CRHEA, município de Itirapina/SP, em 2008.

Mês	T <sub>máxima</sub>	T <sub>mínima</sub>	T <sub>média</sub>	UR	u <sub>2</sub>	n	n	RS	E <sub>TCA</sub>
	°C			%	m.s <sup>-1</sup>	h.mês <sup>-1</sup>	h.dia <sup>-1</sup>	Watt.m <sup>-2</sup>	mm.mês <sup>-1</sup>
Jan	33,9	11,8	23,2	85,8	2,5	127,5	4,1	424,4	121,1
Fev	33,8	15,8	25,5	79,0	1,4	165,9	5,7	523,8	123,1
Mar	32,4	14,0	23,8	84,9	1,9	217,3	7,0	512,8	126,8
Abr	31,5	10,0	22,7	85,6	1,6	153,6	5,1	303,7	117,1
Mai	28,8	5,0	18,2	81,1	1,3	206,8	6,7	245,8	102,9
Jun	28,4	4,3	17,9	81,1	1,8	191,4	6,4	209,3	88,1
Jul	29,4	4,4	17,8	70,2	2,5	267,0	8,6	278,0	128,7
Ago	31,5	4,7	19,9	74,5	3,8	233,4	7,5	296,9	143,4
Set	33,2	5,0	19,5	73,2	5,0	220,0	7,3	364,7	155,8
Out	35,0	9,8	22,8	76,2	4,9	169,8	5,5	353,9	168,8
Nov	31,2	11,2	22,4	80,2	4,2	217,9	7,3	402,6	182,7
Dez	31,6	12,5	22,4	83,1	3,6	192,3	6,2	352,1	159,2

UR – Umidade relativa média diária; u<sub>2</sub> – Velocidade do vento média diária a 2m de altura; n – Número de horas de insolação; RS – Radiação solar média diária; E<sub>TCA</sub> – Evaporação do Tanque Classe A.

Neste estudo foram analisados os métodos de Thornthwaite (1948), Blaney-Criddle (1950), Remanenکو (1961), Hamon (1961), Linacre (1977), Hargreaves-Samani (1982), Kharrufa (1985) e FAO-Penman-Monteith, cujos equacionamentos matemáticos para estimativa da evapotranspiração potencial são apresentados a seguir.

Thornthwaite (1948) correlaciona informações de latitude e mês do ano com a variável temperatura e possibilita a estimativa da evapotranspiração com a seguinte equação:

$$ETP = Fc.16.(10\frac{T}{I})^a \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (\frac{t_i}{5})^{1,514} \quad (2)$$

$$a = 67,5.10^{-8} I^3 - 7,71.10^{-6} I^2 + 0,01791I + 0,492 \quad (3)$$

em que, ETP - evapotranspiração potencial mensal (30 dias e 12 h de luz) (mm.mês<sup>-1</sup>); T - temperatura média do ar (°C); Fc - fator de correção em função da latitude e do mês (Tucci *et al.*, 2004); t<sub>i</sub> - temperatura média do mês (°C).

A evapotranspiração pelo método FAO-Penman-Monteith (1998) foi determinada, conforme metodologia apresentada por Allen *et al.* (1998):

$$ETp_{FPM} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

em que, ETp<sub>FPM</sub> - evapotranspiração de referência por FAO-Penman-Monteith (mm.dia<sup>-1</sup>); Δ - derivada (inclinação da curva) da relação entre a pressão de saturação de vapor da água e a temperatura (mb.°C<sup>-1</sup> ou hPa.°C<sup>-1</sup>); R<sub>n</sub> - radiação útil recebida na superfície da vegetação (MJ.(m<sup>2</sup>.dia)<sup>-1</sup>); G - fluxo de calor recebido pelo solo (MJ.(m<sup>2</sup>.dia)<sup>-1</sup>); γ - constante psicrométrica (kPa.°C<sup>-1</sup>); T - Temperatura média do ar a 2m de altura; u<sub>2</sub> - velocidade média do vento coletada a 2 m de altura, (m.s<sup>-1</sup>); e<sub>s</sub> - pressão de saturação do vapor d'água, kPa; e<sub>a</sub> - pressão atual do vapor d'água (kPa).

As equações dos demais métodos utilizados neste estudo (Blaney-Criddle (1950), Remanenکو (1961), Hamon (1961), Linacre (1977), Hargreaves-Samani (1982), Kharrufa (1985)) são amplamente difundidas na literatura especializada em evapotranspiração e podem ser encontradas em Maidment (1993), Pereira *et al.* (1997) e Allen *et al.* (1998).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A média anual de correlação diária entre os métodos analisados é apresentada na Tabela 2. A Figura 1 apresenta a média mensal de correlação diária em cada mês e a respectiva variação no decorrer do ano.

TABELA 2. Correlação entre médias anuais dos dados diários para o ano de 2008, de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial por temperatura com o método padrão FAO-Penman-Monteith (1998).

ANO	Correlação de Evapotranspiração - Métodos Baseados na Temperatura						
	ET <sub>pTW</sub>	ET <sub>pBC</sub>	ET <sub>pRK</sub>	ET <sub>pHA</sub>	ET <sub>pLI</sub>	ET <sub>pHS-T</sub>	ET <sub>pKH</sub>
2008	0,56	0,60	0,75	0,46	0,64	0,78	0,61

Analisando a correlação entre médias anuais dos dados diários de evapotranspiração com o método padrão FAO-Penman-Monteith (1998), nota-se que os métodos de estimativa por temperatura que obtiveram melhor desempenho, por ordem decrescente, foram: Hargreaves-Samani (1982), Romanenko (1961), Linacre (1977), Kharrufa (1985), Blaney-Criddle (1950), Thornthwaite (1948) e Hamon (1961).

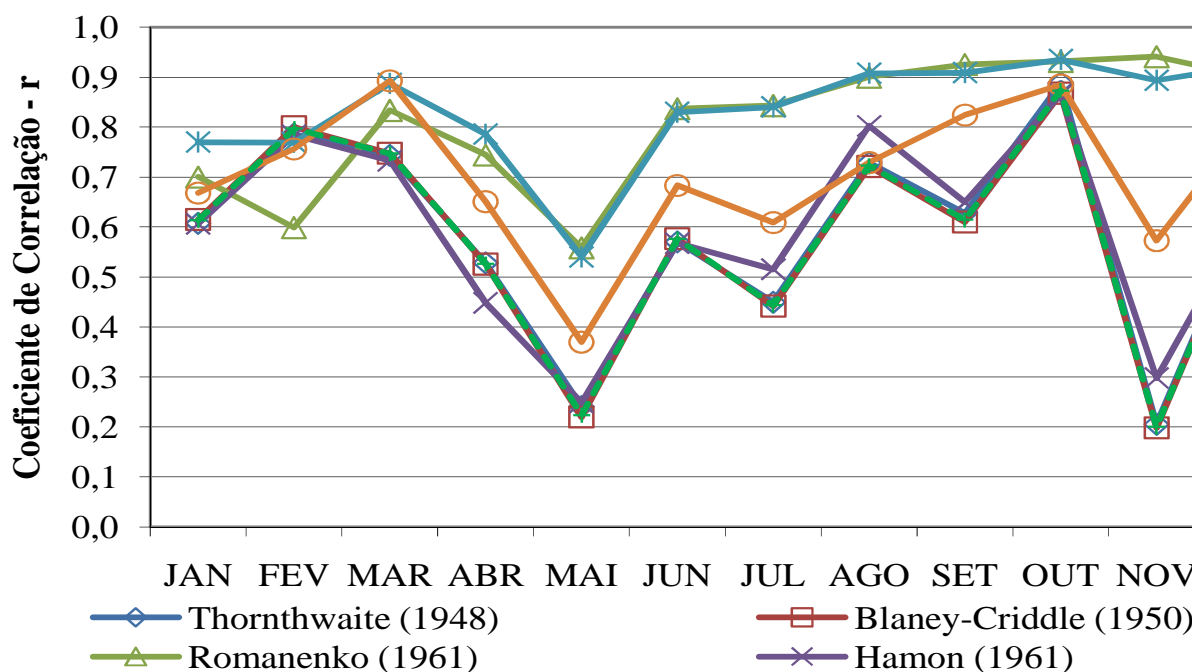


FIGURA 1. Média mensal da correlação entre os dados diários, de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial por temperatura com o método padrão FAO-Penman-Monteith (1998), para o ano de 2008.

Em relação às médias mensais dos dados diários verifica-se que no mês de maio, houve uma menor correlação média geral dos métodos de estimativa estudados com a do método padrão FAO-Penman-Monteith (1998). No mês de maio houve uma queda abrupta da temperatura média diária, enquanto a radiação solar não caiu de forma tão pronunciada, resultando em uma menor correlação com o método padrão FAO-Penman-Monteith (1998).

No mês de novembro houve uma discrepância entre a correlação dos métodos de Romanenko (1961) e Linacre (1977) com o método FAO-Penman-Monteith (1998), resultante do aumento relativo da radiação solar em comparação aos meses vizinhos (Tabela 1).

**CONCLUSÕES:** Utilizando-se dados diários de um ano inteiro, os métodos mais recomendados de estimativa da evapotranspiração baseados na temperatura que obtiveram uma correlação com o método padrão da FAO acima de 70%, em ordem decrescente, foram: Hargreaves-Samani (1982) e Romanenko (1961). Já quando se utiliza médias mensais de dados diários, os resultados mostram os métodos de Linacre (1977) e Romanenko (1961) como os de melhor correlação média com o método padrão da FAO no decorrer do ano.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao CNPq - Brasil (processo 152033/2008-4) e à FAPESP pelos auxílios financeiros que viabilizaram o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.
- CAMARGO, A. Paes. *Balanço hídrico no Estado de São Paulo*. 3.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 24 p. (Boletim, 116)
- CUNHA, A. T. *Estimativa experimental da taxa de recarga na zona de afloramento do aquífero Guarani, para a região de São Carlos-SP*. 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado em hidráulica e saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.
- HARGREAVES, G.H.; Z.A. SAMANI. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineer*, ASCE, 108(IR3):223-230.
- MAIDMENT, D.R. (Org.). *et al. Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York, 1993.
- PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. *Nether. Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 4, p.9-29, 1956.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- PEREIRA, A.R.; NOVA, N.A.V.; SEDIYAMA, G.C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation, using large scale parameters. *Monthly Weather Review*, Madison, v.100, n.2, p.81-92, 1972.
- SCOZZAFAVA, M.; TALLINI, M. Net infiltration in the Gran Sasso Massif of central Italy using the Thornthwaite water budget and curve-number method. *Hydrogeology Journal*, Berlin, v. 9, p. 461-475, 2001.
- STANHILL, G. The use of piche evaporimeter in the calculation of evaporation. *Quartely Journal of Royal Meteorological Society*, Berkshire, v. 88, p. 80-82, 1962.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, v. 38, n.1, p. 55-94, 1948.
- TUCCI, C. E. M. (Org.). *et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3ª ed., Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ABRH, 2004. 944 p.