



## COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA ÉPOCA CHUVOSA EM PLANALTINA-DF

ARTUR G. MULLER<sup>1</sup>, CAIO T. MOURA<sup>2</sup>, ALEXSANDRA D. DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, JUACI  
V. MALAQUIAS<sup>3</sup>, VAGNA DA C. PEREIRA<sup>4</sup>, JOÃO P. G. SOARES<sup>1</sup>, JOÃO G. R.  
CEOLIN<sup>5</sup>

1 Pesquisador A, Embrapa Cerrados, CPAC, Planaltina - DF, Fone: (0 xx 61) 3388-9860,

[artur.muller@embrapa.br](mailto:artur.muller@embrapa.br); [alexandra.duarte@embrapa.br](mailto:alexandra.duarte@embrapa.br); [jp.soares@embrapa.br](mailto:jp.soares@embrapa.br)

2 Estudante de graduação em Agronomia, União Pioneira de Integração Social, UPIS, Planaltina – DF.

3 Analista, Embrapa Cerrados, CPAC, Planaltina, DF.

4 Mestranda em Meteorologia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

5 Estudante de graduação em Agronomia, Universidade de Brasília, UNB, Planaltina – DF.

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de  
Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos  
Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi comparar os métodos de estimativas da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) FAO24-Penman (FP), Ritchie-Priestley & Taylor (PT) e de Thornthwaite (TW) com o método de Penman-Monteith-FAO (PM), considerado como padrão. Foram utilizados dados da estação meteorológica automática da Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF referentes ao período de 2008 a 2012. As estimativas para a época chuvosa, foram avaliadas por meio dos índices de desempenho estatísticos que estimam o grau de precisão e exatidão, sendo calculados a correlação “r”, o índice de exatidão “d”, e de confiança ou desempenho “c”. Entre os métodos utilizados, o FAO24-Penman e Ritchie-Priestley & Taylor apresentaram maior precisão e exatidão,  $r = 0,97$  e  $0,94$ ;  $d = 0,99$  e  $1,00$ , respectivamente. Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ), obtidos das análises de regressão lineares desses métodos com PM-FAO foram de  $0,948$  e  $0,877$ , indicando que parcela significativa da variação total dos valores de ET<sub>o</sub>, estimada método de PM-FAO, é estimada pelos métodos FAO24-Penman e Ritchie-Priestley & Taylor. O coeficiente de desempenho “c” foi considerado ótimo para os métodos FAO24-Penman e Ritchie-Priestley & Taylor, apresentando assim os melhores desempenhos entre os avaliados.

**Palavras-chave:** Agrometeorologia, Evapotranspiração de referência.

## COMPARISON OF METHODS FOR ESTIMATING EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE IN THE RAINY SEASON IN PLANALTINA-DF

**ABSTRACT:** The object of this study was to compare estimates of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), using different methods (FAO24-Penman, FAO-PM, Ritchie & Priestley-Taylor, Thornthwaite) and considering the FAO-PM method as standard. We used data from automatic weather station EMBRAPA Cerrado, Planaltina-DF for the period 2008-





2012. The analysis for rainy season was performed using methods of statistical performance indices that assess the degree of precision and accuracy of the estimates: Correlation coefficient "r" accuracy index "d", and reliable performance or "c". Among the methods used, the Penman-FAO24 (FP) and Ritchie & Priestley-Taylor (PT) had higher precision and accuracy,  $r = 0.97$  and  $0.94$ ,  $d = 0.99$  and  $1.00$ , respectively. The coefficients of determination ( $r^2$ ), obtained from linear regression analysis with these methods with the PM-FAO were  $0.948$  and  $0.877$ , indicating that the total variation of  $ET_0$  values can be explained by these methods. The coefficient of performance "c" was considered optimal for the method FAO24-Penman and Ritchie-Priestley & Taylor, thus presenting the best performance among the evaluated.

**Keywords:** Agrometeorology, Reference evapotranspiration

## INTRODUÇÃO

A ação conjunta dos sistemas atmosféricos que atuam no Cerrado confere ao Bioma características climáticas peculiares, com regime de chuva tipicamente tropical, com máxima no verão e mínima no inverno. Dessa forma, a área de domínio do Cerrado, em sua grande parte, apresenta duas estações bem definidas: uma chuvosa, marcada por excedente hídrico, porém com alto risco de períodos de deficiência hídrica e consequente perda de rendimento das culturas e outra estação seca, marcada por profunda deficiência hídrica causada pela redução drástica da oferta pluviométrica. As atividades agrícolas demandam grandes quantidades de água e, visando sua melhor eficiência de uso, esforços têm sido empregados no desenvolvimento de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência e da cultura, da deficiência hídrica e das perdas de produtividade devido a esta deficiência, subsidiando projeto e/ou manejo de irrigação (CARVALHO et al., 2011). A estimativa de evapotranspiração também é útil no ajustamento de épocas de semeadura sincronizando o período crítico da cultura em função da disponibilidade hídrica média da região considerada, aumentando a eficiência no aproveitamento das precipitações (BERLATO & MOLION, 1981). Existem vários modelos de estimativa da  $ET_0$ , contudo os parâmetros de entrada nem sempre são disponíveis. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo verificar a precisão de estimativa da evapotranspiração de referência por diferentes metodologias considerando o método de PM-FAO como método padrão.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a estimativa da evapotranspiração de referência foram utilizados os dados de temperatura e umidade relativa atmosférica, radiação solar global e vento. Todos os dados foram medidos a 2 metros acima da superfície do solo. As leituras dos dados meteorológicos foram feitas por meio de estação meteorológica automática pertencente a Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina-DF. As coordenadas geográficas da estação são: latitude  $15^{\circ} 36' 04''$  S, longitude  $47^{\circ} 42' 50''$  W e altitude de 1001 m (SILVA, 2008a). Segundo W. Köppen, a classificação climática do local, é do tipo Aw, ou seja, Megatérmico ou Tropical úmido (A), com o subtipo clima de savana, com inverno seco e chuvas máximas de verão (w) (SILVA, 2008b).





Foram utilizados dados diários de temperatura máxima e mínima, umidade relativa, velocidade do vento e insolação, compreendidos de janeiro de 2008 a dezembro de 2012. Os dados foram tratados por meio de um programa que organiza e analisa os dados meteorológicos, cuja metodologia encontra-se descrita em FARIA et al. (2002) e onde também foram realizadas as estimativas da ETo, que utiliza os seguintes métodos: FAO24-Penman, PM-FAO, Ritchie-Priestley & Taylor e Thornthwaite, descritos em Pereira et al. (1997) e em FARIA et al. (2002). A análise comparativa entre o método padrão e os avaliados, foi baseada em regressão linear, onde a variável independente foi considerada a ETo do método padrão e a dependente a ETo dos métodos avaliados. Também foram determinados os seguintes índices estatísticos de comparação sugeridos Camargo e Sentelhas (1997): o coeficiente de correlação “r” (equação 1), a exatidão pelo índice de Willmott “d” (equação 2) 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.

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

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

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) (equação 3), conforme Jensen, Burman e Allen (1990).

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

Sendo:  $Y$  a evapotranspiração estimada pelo método avaliado ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );  $Y_m$  é a evapotranspiração estimada pelo método de PM FAO ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) e  $n$  o número total de observações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos FAO24-Penman (FP) e Ritchie-Priestley & Taylor (PT) obtiveram valores altos de precisão e exatidão,  $r = 0,97$  e  $0,94$ ;  $d = 0,99$  e  $1,00$ , respectivamente (conforme tabela 1), demonstrando serem métodos precisos e exatos nas estimativas de ETo comparados ao método de PM FAO. O coeficiente de desempenho “c” entre o método padrão PM-FAO (PM) com os métodos FAO24-Penman e Ritchie-Priestley & Taylor (PT) são considerado ótimo, de acordo com Camargo & Sentelhas (1997), já o método de Thornthwaite (TW) apresentou desempenho inferior (tabela 1), este método apenas utiliza a temperatura como parâmetro de entrada, o que segundo Conceição (2005), pode limitar o seu desempenho principalmente quando outros parâmetros ligados a evapotranspiração são variáveis, como a umidade relativa, a radiação solar e o vento.





Tabela 1. Valores do coeficiente de correlação, índice de exatidão, coeficientes de desempenho e erro padrão de estimativa, referentes ao período seco em Brasília-DF, de 2008 a 2012.

Equações	r	d	c	Desempenho	EPE (mm.d <sup>-1</sup> )
FAO24-Penman	0,97	0,99	0,97	Ótimo	0,79
Ritchie-Priestley & Taylor	0,94	1,00	0,93	Ótimo	0,56
Thornthwaite	0,31	0,97	0,30	Mau	1,22

O menor erro padrão de estimativa foi obtido pelo método Ritchie-Priestley & Taylor evidenciando que apesar do menor valor de confiança este tem um menor erro de predição da ETo padrão em relação a estimativa realizada pelo método FAO24-Penman. O método de Thornthwaite teve erro superior padrão de estimativa superior aos demais, não sendo recomendado seu uso ao nível diário. As Figuras 1A, 1B e 1C, apresentam relações entre os valores diários da evapotranspiração de referência, calculados por diferentes métodos com as estimativas obtidas pelo método de FAO24-Penman, para o período chuvoso em Planaltina-DF, nos anos entre de 2008 a 2012. Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ), obtidos das análises de regressão lineares desses métodos com PM-FAO foram 0,948; 0,877 e 0,0974 respectivamente, indicando a proporção da variação total dos valores de ETo estimada pelo método padrão foi explicada pela relação linear com as estimativas obtidas utilizando os métodos relacionados na figura. O método de Thornthwaite (TW) não apresentou coeficiente de determinação significativo. O valor da constante de inclinação da reta que relaciona os métodos de PM e de FP (Figura 1A), cerca de 30% acima do valor unitário desejado, indica que para maiores demandas evapotranspirativas o método FP terá uma estimativa mais elevada do que o método PM, o que pode ser observado pelo distanciamento dos pontos e da reta de regressão linear em relação à reta 1:1, que representaria uma reta de estimativa perfeita entre os métodos. Para valores menores a estimativa os pontos e a reta de regressão linear estão próximos da reta 1:1 o que demonstra alta precisão e exatidão das estimativas e baixo erro de estimativa. A presença de valores elevados de demanda evapotranspirativa é que determinou o valor de EPE mais elevado em relação ao obtido pelo método PT. O valor do coeficiente de determinação da inclinação da reta que relaciona o método de PM com o de PT (Figura 2A) foi levemente superior, porém próximo de 1, o que fez com que a regressão linear se mantivesse sempre próxima à reta 1:1, isto que explica o reduzido valor de EPE, observado na tabela 1. Nesta relação a dispersão dos pontos no entorno das retas é mais elevada, principalmente para reduzidas demandas evapotranspirativas, o que explica a redução do coeficiente de correlação (precisão da estimativa), em comparação com a figura 1A, e nos permite afirmar que os métodos relacionados estimam valores com precisão mais elevada em alta demanda evapotranspirativa.



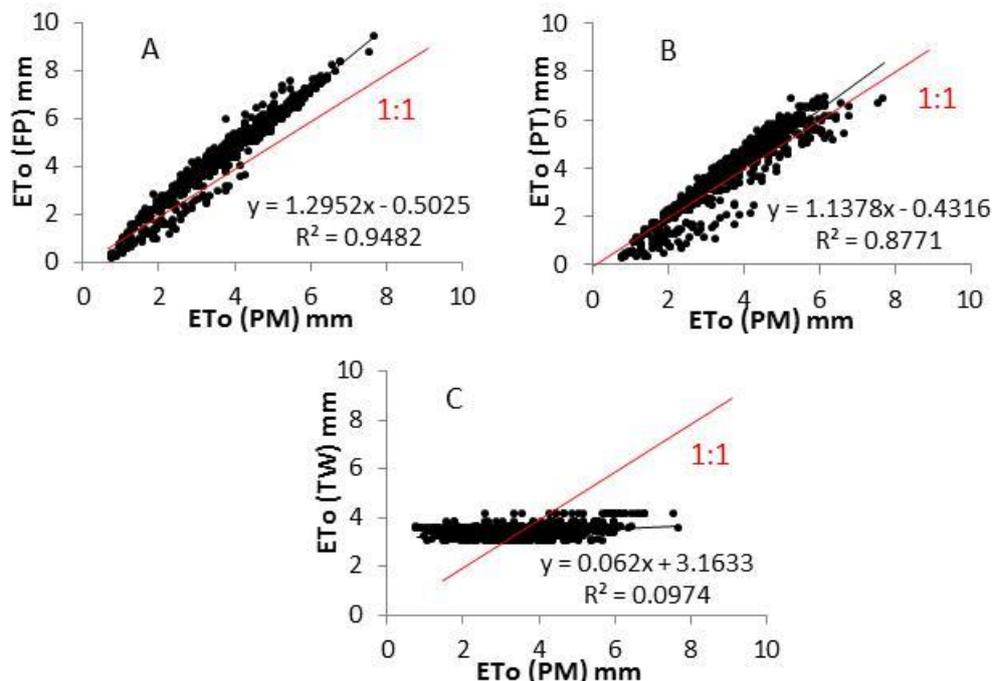


Figura 1 - Relações entre os valores diários da evapotranspiração de referência calculados pelo método FAO24-Penman (FP) e de Penman-Monteith (PM) (A), pelo método de Ritchie-Priestley & Taylor (PT) e de Penman-Monteith (PM) (B) e pelo método de Thornthwaite (TW) e de Penman-Monteith (PM), para o período seco em Planaltina-DF.

Por ser um método baseado unicamente na temperatura o método de Thornthwaite estimou pouca variação da evapotranspiração (Figura 1C), o que explica a não significância do coeficiente de determinação da reta.

## CONCLUSÕES

Nas condições climáticas do local de estudo, no período considerado e para os métodos avaliados, o método FAO24-Penman e Ritchie-Priestley & Taylor apresentaram o melhor desempenho (considerado ótimo), mostrando-se maior confiabilidade na estimativa da evapotranspiração de referência, sendo que FAO24-Penman apresentou melhor desempenho em períodos de baixa demanda evapotranspirativa e Ritchie-Priestley & Taylor em períodos de alta demanda. Não é recomendado o uso do método de Thornthwaite na escala diária.

## REFERÊNCIAS

BERLATO, Moacir A.; MOLION, Luiz C. B. **Evaporação e evapotranspiração.** Departamento de pesquisa. Secretaria da Agricultura. Boletim Técnico. n. 7, Porto Alegre: IPAGRO, 1977.



XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA  
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia  
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013  
**Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade  
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia**



- 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.
- CARVALHO, L. G. de ; RIOS, G. F. A. ;MIRANDA, W. L. et al. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, n.2 p.303-307, 2005.
- FARIA, R. T. de et al. CLIMA- programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos. Londrina: IAPAR,2002. 29p. (Boletim Técnico, 66).
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.
- PERREIRA, R.P.;VILA NOVA, N.A. & SEDIYAMA, G.C. - Evapo(transi)ração. Piracicaba/FEALQ. 183p, 1997
- SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008(b). cap. 3, p. 71-88.
- SILVA, F. A. M. da; MÜLLER, A. G.; FERREIRA D. R. Boletim agrometeorológico do ano de 2007 para a estação principal da Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF. 2008(a) 44p.

