

## AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.6, n.2, p.337-343, abr.-jun., 2011

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 1124 – 27/09/2010 \*Aprovado em 31/03/2011

DOI:10.5039/agraria.v6i2a1124

Leônidas P. de Alencar<sup>1,2</sup>

Rafael C. Delgado<sup>1,3</sup>

Thomé S. Almeida<sup>1</sup>

Henderson S. Wanderley<sup>1</sup>

# Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo comparativo dos métodos de Blaney Criddle, Hargreaves-Samani e Radiação com o método padrão (Penman-Monteith FAO 56) para as condições climáticas do município de Uberaba, localizado no triângulo mineiro. Foi utilizado um conjunto de dados diários de 10 anos (1996 a 2005) das temperaturas máximas e mínimas, velocidade do vento, insolação e umidade relativa do ar. Para comparar os valores de ETo estimados por meio das equações empíricas com os do método universal padrão Penman-Monteith (FAO56) foram considerados os parâmetros da equação de regressão a e b, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), o viés médio (VM), o erro absoluto médio (EAM), a raiz do erro quadrático médio (REQM), o índice de concordância (d) e o índice de confiança ou desempenho (c). Os métodos foram avaliados para duas estações do ano, uma de baixa demanda evaporativa, nos meses de abril a setembro, e outra de alta demanda, entre outubro e março. Em ambos os casos, a equação de Blaney Criddle mostrou-se ser a mais precisa. O método de Hargreaves-Samani apresentou o pior desempenho para as condições climáticas estudadas.

**Palavras-chave:** Blaney Criddle, equações empíricas, Hargreaves-Samani, Penman-Monteith (FAO 56), radiação.

## Comparison of different methods for daily estimating reference evapotranspiration for the region of Uberaba

## ABSTRACT

This study had the objective to carry out a comparative study of Blaney Criddle, Hargreaves-Samani and Radiation methods with the standard method (Penman-Monteith FAO 56) for the climate conditions in the city of Uberaba, located in the "Triângulo Mineiro" region of the state of Minas Gerais, Brazil. A set of 10 years daily data (1996 to 2005) of maximum and minimum temperatures, wind speed, insolation and relative humidity was used. In order to compare the evapotranspiration values estimated by the empirical equations with the universal standard Penman-Monteith method (FAO56), the parameters of the regression equation a and b, determination coefficient, Pearson's correlation coefficient, mean bias error, the mean absolute error, root mean squared error, the index of agreement and the index of confidence or performance were considered. The methods were evaluated for two seasons: (1) low evaporative demand, in the months of April and September and, (2) high evaporative demand, in the months of October and March. In both cases, the Blaney Criddle equation was shown to be more accurate. The Hargreaves-Samani method presented the worst performance for the studied climate conditions.

**Key words:** Blaney Criddle, empirical equations, Hargreaves-Samani, Penman-Monteith (FAO-56), radiation.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa-MG, Brasil. Fone: (031) 3899-1900. Fax: (031) 3899-2735. E-mail: lpaufv@hotmail.com; rcdelgado@hotmail.com; thomeaj@hotmail.com; hendynho@hotmail.com

<sup>2</sup> Bolsista de Doutorado do CNPq

<sup>3</sup> Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é o fenômeno que ocorre a partir da combinação de dois processos: (1) evaporação, onde ocorre a passagem da água do estado líquido para o gasoso, em que este vapor d'água absorve a energia do meio denominada calor latente de evaporação e, (2) transpiração, que é a evaporação da água utilizada nos diversos processos metabólicos dos vegetais (Silva et al., 2010).

Como principal responsável pela perda de água nas bacias hidrográficas, a evapotranspiração exerce uma grande influência sobre os processos hidrológicos, sendo que este componente está estreitamente relacionado com a dinâmica da umidade do solo, a recarga dos aquíferos e o escoamento superficial (Liang et al., 2009).

A ETo está relacionada ao efeito da demanda atmosférica sobre as exigências hídricas das plantas, sendo estimada a partir dos elementos do clima. Por isso uma determinação precisa da ETo é de fundamental importância para um bom manejo da irrigação.

Muitas das equações empregadas na estimativa da evapotranspiração são empíricas, o que as limita a serem usadas para locais e climas similares àqueles em que foi efetuada sua determinação.

Assim, a fim de comparar a evapotranspiração em diferentes regiões, a FAO (Food and Agriculture Organization) propôs a evapotranspiração de referência (ETo), definida como a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência com altura de 0,12 m, uma resistência de superfície de  $70 \text{ s.m}^{-1}$  e um albedo de 0,23, considerando como superfície de referência uma cultura hipotética com altura uniforme, sem restrições de água, crescendo ativamente e sombreando completamente o solo (Allen et al., 1998).

O método de Penman-Monteith (PM-FAO) foi recomendado pela FAO como o padrão para calcular a ETo e tem sido utilizado em todo o mundo. No entanto, este método exige várias medições de variáveis climáticas como temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento. Infelizmente, há um número limitado de locais onde estão instaladas estações meteorológicas para monitoramento dessas variáveis climáticas. Esta falta de dados meteorológicos leva ao desenvolvimento de abordagens mais simples para estimar a ETo que exigem apenas alguns parâmetros climáticos. Neste contexto, vários métodos têm sido relatados na literatura para estimar a ETo. Alguns destes métodos são baseados em uma única variável climática como: radiação solar (Blaney & Criddle, 1950; Makkink, 1957; Priestley & Taylor, 1972) ou temperatura (Hargreaves & Samani, 1985).

Em razão do grande número de métodos existentes para a estimativa da ETo, a escolha do método mais adequado depende da disponibilidade de dados climatológicos, do nível de precisão exigido, da finalidade, se manejo da irrigação ou pesquisa, bem como do custo de aquisição de equipamentos (Tagliaferre et al., 2010). Diversos trabalhos comparando os vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência são encontrados na literatura, para diferentes regiões (Reis et al., (2007), Oliveira et al. (2008a), Tagliaferre et al., (2010).

Porém os resultados variam muito entre os estudos, pois cada região apresenta características climáticas diferentes, o que dificulta ao usuário decidir sobre a conveniência de qual método adotar.

A região de Uberaba tem grande importância econômica devido à agricultura, sendo que o município é um dos maiores produtores de milho e soja do estado de Minas Gerais. Por isso, o conhecimento da evapotranspiração de referência (ETo) é de extrema importância para o planejamento de recursos hídricos e para a agricultura irrigada na região.

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a eficiência de três métodos de determinação da evapotranspiração de referência (Radiação Solar, Blaney Criddle e Hargreaves-Samani), comparando-os com o método padrão de Penman-Monteith (FAO 56), utilizando diferentes índices estatísticos.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a região da cidade de Uberaba, que está localizada na região do Triângulo Mineiro, na região Sudeste, situada a  $19^\circ 45'$  de latitude Sul,  $47^\circ 55'$  de longitude Oeste e altitude de 743m.

Foram utilizados dados diários da estação climatológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), abrangendo as seguintes variáveis: temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e insolação. O período de abrangência dos dados foi de 1996 a 2005, totalizando 10 anos de dados.

As estimativas da evapotranspiração de referência diária (ETo) foram obtidas pelos modelos de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, Radiação Solar (Doorenbos & Pruitt, 1977), Blaney Criddle (Blaney & Criddle, 1950) e Hargreaves-Samani (Hargreaves & Samani, 1985). Estes métodos foram estudados por serem recomendados pelos Boletins 24 e 56 da FAO para a estimativa da evapotranspiração de referência.

### Método de Penman-Monteith (ETo-PM)

Para o cálculo da evapotranspiração de referência, utilizou-se a equação de Penman Monteith (FAO), parametrizada por Allen et al. (1998), para o intervalo de tempo de 24 horas.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que ETo-PM é evapotranspiração de referência ( $\text{mm.d}^{-1}$ );  $R_n$ , saldo de radiação à superfície da cultura ( $\text{MJ m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ );  $G$ , densidade do fluxo de calor do solo ( $\text{MJ m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ );  $T$ , temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ );  $u_2$ , velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$ , pressão de vapor de saturação (kPa);  $e_a$ , pressão parcial de vapor (kPa);  $\Delta$ , declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ); e  $\gamma$ , constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

As equações padronizadas para o cálculo de todos os parâmetros da equação (1) são apresentadas em Allen et al. (1998).

**Método de Blaney Criddle ETo(BC)**

Com o objetivo de melhor definir os efeitos do clima nas necessidades hídricas das culturas, o método de Blaney-Criddle original (Blaney & Criddle, 1950) foi modificado por Doorenbos & Pruitt (1977) para a obtenção da ETo, considerando os níveis gerais de umidade relativa mínima, velocidade do vento e insolação. O método de Blaney-Criddle modificado pela FAO é o seguinte:

$$ET_o = a + bf \tag{2}$$

em que *a* e *b* são os coeficientes da equação linear que relacionam “f” e a ETo; “f”, o fator da equação de Blaney Criddle dado pela equação:

$$f = p(0,46T + 8,13) \tag{3}$$

em que *p* é porcentagem diária média anual de horas de brilho solar e *T*, temperatura média em °C.

As expressões propostas por Frevert et al.(1983) são utilizadas para o cálculo dos coeficientes de *a* e *b*.

**Método da Radiação Solar ETo (RS)**

O método da radiação é uma adaptação feita por Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassam (1994) para o método de Makkink, em que os coeficientes da equação de Makkink foram substituídos por um parâmetro *r*, em função da umidade relativa do ar e da velocidade do vento (Pereira et al. 1997). A estimativa da evapotranspiração é dada pela seguinte equação.

$$ET_o = rWR_s \tag{4}$$

em que *r* é um fator de ajuste que varia com a umidade relativa média e a velocidade do vento (Frevert et al., 1983); *W*, é um fator de ponderação, que inclui os efeitos da temperatura e da altitude na relação entre a radiação da superfície do solo e da evapotranspiração de referência (Doorenbos & Pruitt, 1977) e *Rs*, a radiação solar (mm d<sup>-1</sup>).

**Método de Hargreave-Samani ETo(HS)**

Usando dados obtidos nos lisímetros de Davis, no estado da Califórnia (clima semi-árido), com gramado, Hargreaves & Samani (1985) propuseram um novo método para a estimativa da evapotranspiração (Pereira et al., 1997).

O método proposto por Hargreaves & Samani (1985) para a estimativa da evapotranspiração de referência é uma alternativa para situações em que não se têm dados medidos de radiação solar à superfície, umidade relativa e velocidade do vento:

$$ET_o = 0,0023(T_{max} - T_{min})^{0,5}(T_{med} + 17,8)Ra \tag{5}$$

em que: *T<sub>max</sub>* é a temperatura máxima do dia, °C; *T<sub>min</sub>*, a temperatura mínima do dia, °C; *T<sub>med</sub>*, a temperatura média do dia, °C e *Ra*, a radiação extraterrestre, mm d<sup>-1</sup>.

**Avaliação dos métodos**

A análise de desempenho dos modelos foi feita comparando os valores de ETo obtidos pelos outros métodos com o método padrão de Penman-Monteith (FAO 56).

Os valores de ETo obtidos pelo método de Penman-Monteith (PM FAO 56) e os computados através de outros métodos foram comparados usando a análise de regressão simples e uma série de estatísticas propostas por Willmott (1982).

O viés médio dos modelos foi calculado pela equação:

$$VM = N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \tag{6}$$

em que *N* é o número de observações; *P<sub>i</sub>* são os valores estimados da ETo (mm d<sup>-1</sup>) e *O<sub>i</sub>* são valores de ETo calculados pelo método PM FAO 56 (mm d<sup>-1</sup>). Os erros dos modelos foram calculados pela raiz do erro quadrático médio (REQM) e pelo erro absoluto médio (EAM), dados pelas seguintes equações:

$$REQM = \sqrt{\left( N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right)} \tag{7}$$

$$EAM = N^{-1} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \tag{8}$$

A aproximação dos valores de ETo estimados por determinado método estudado, em comparação aos valores obtidos pelo método padrão, foi obtida pelo índice de concordância (*d*) (Willmott et al., 1985).

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \tag{9}$$

em que *O* é a média dos valores de ETo obtida pelo método padrão, mm.d<sup>-1</sup>.

Esta medida condensa todas as diferenças entre as estimativas do modelo e as observações em uma estatística quantitativa, sendo que, visto de outra perspectiva, o índice de concordância é uma medida de quão bem o modelo estima o afastamento dos dados da média observada. O índice de concordância tem um intervalo variando entre 0 e 1, sendo que valores próximos a 1 mostram uma concordância perfeita.

Analogamente a Camargo & Sentelhas (1997), para a análise da confiabilidade de cada equação, considerou-se um índice de confiança “*c*” igual ao produto da correlação *R* pela concordância *d*. Propõe-se que o índice *c* = 0 indique confiança nula e o índice *c* = 1 signifique confiança perfeita.

O índice “*c*” é escrito da seguinte forma:

$$c = r \times d \tag{10}$$

em que *c* é índice “*c*” desempenho e *d*, índice de concordância de Willmott.

A Tabela 1 apresenta o critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos pelo índice “*c*” para os valores médios diários de evapotranspiração de referência.

**Tabela 1.** Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da ETo, pelo índice "c" proposto por Camargo e Sentelhas (1997)

**Table 1.** Performance interpretation criteria of the ETo (reference evapotranspiration) estimation methods, by the "c" index proposed by Camargo and 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	Ruim
≤ 0,40	Péssimo

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 têm-se as variações médias anuais dos elementos climáticos necessários para o cálculo da evapotranspiração de referência, obtidos na estação meteorológica da cidade de Uberaba para o período de 1996 a 2005. A temperatura máxima ocorre nos mês de outubro, sendo o mês de agosto o mais seco.

Na Figura 2 tem-se a comparação dos valores médios diários de evapotranspiração de referência (ETo) calculada pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, Radiação Solar e Blaney Criddle para o período de 1996 a 2005.

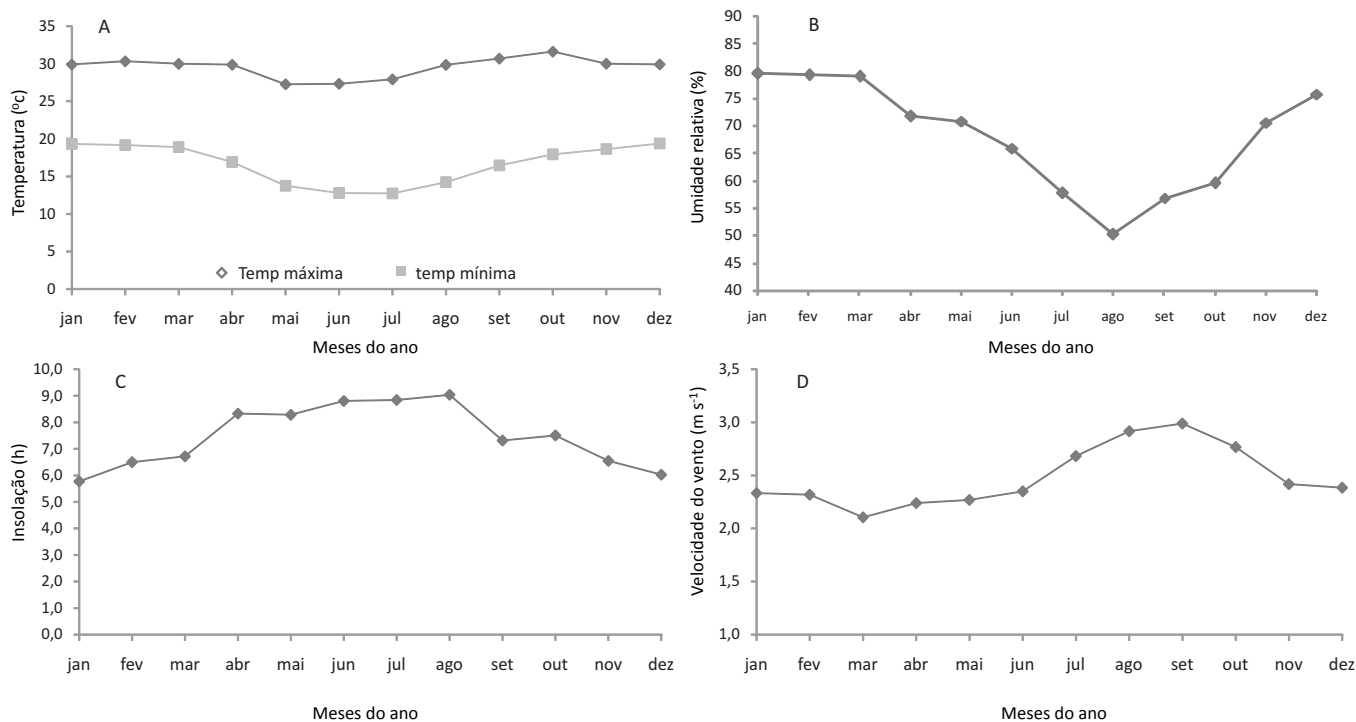
Observa-se que os métodos de Hargreaves-Samani e de Radiação Solar superestimam os valores da ETo em todos os meses, sendo que o método de Hargreaves-Samani se aproxima do método padrão para os meses de maio a agosto. O método de Blaney Criddle subestima o método padrão para os meses de novembro a fevereiro, superestimando o método padrão nos outros meses do ano.

### Avaliação dos métodos considerando o ano completo

Os dados diários de ETo calculados pelo método de Penman-Monteith (FAO 56) foram comparados com os valores calculados dos métodos de Blaney Criddle, Radiação Solar e Hargreaves-Samani. Esta comparação foi realizada a partir das observações diárias realizadas durante os 10 anos de dados.

A simples adoção do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) como o único critério de definição da qualidade de métodos não é adequado, uma vez que este método não estabelece o tipo e a magnitude das diferenças entre um valor padrão e um valor previsto por modelos de estimativa (Barros et al. 2009). Assim, a análise dos índices de concordância de Wilmott (d), erro absoluto médio (EAM), viés médio (VM) e raiz do erro quadrático médio (REQM) auxiliam a interpretação dos resultados.

A Tabela 2 mostra os resultados da comparação, através da análise de regressão simples, entre os valores calculados por três métodos e o método padrão, mostrando o erro associado a cada método através dos índices estatísticos. Os três métodos de cálculo foram considerados como variáveis dependentes e os valores do método padrão, como a variável independente.



**Figura 1.** Valores médios mensais das temperaturas mínimas e máximas (A), umidade relativa (B), insolação (C) e velocidade do vento (D) em Uberaba entre 1996 e 2005

**Figure 1.** Average monthly values of the minimum and maximum temperatures (A), relative humidity (B), insolation (C) and wind speed (D) in Uberaba, Minas Gerais, Brazil, between 1996 and 2005

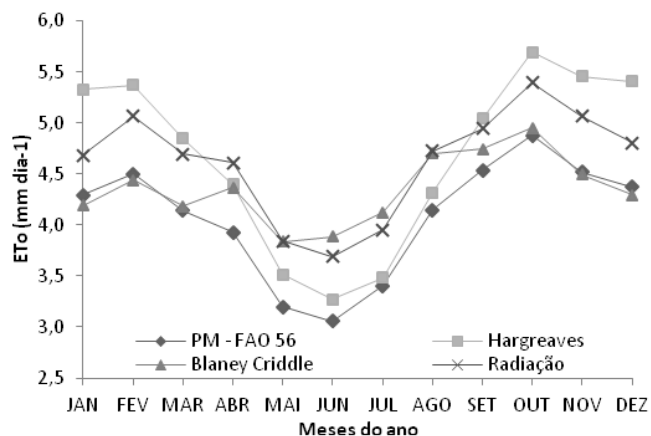


Figura 2. Variação média mensal da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith (FAO 56), Blaney Criddle, Radiação e Hargreaves-Samani para o período de 1996 a 2005

Figure 2. Average monthly variation of the reference evapotranspiration by the Penman-Monteith (FAO 56), Blaney Criddle, Radiation and Hargreaves-Samani methods for the period from 1996 to 2005

Os valores para os parâmetros da equação de regressão (a e b) foram altamente significativos ( $P < 0,01$ ) em todos os casos.

O método de Hargreaves-Samani apresentou baixo desempenho entre os métodos, superestimando os valores observados e apresentando um erro absoluto médio (EAM) de  $0,75 \text{ mm d}^{-1}$ . Este método apresentou o pior coeficiente de determinação com os maiores erros, sendo considerado como “mediano” pela classificação do índice c. O método da Radiação solar, apesar de ter apresentado um bom coeficiente de determinação com elevados valores dos índices de concordância, e de ser considerado como um método muito bom, apresentou erros menores que os encontrados pelo método de Hargreaves-Samani.

O método de Blaney Criddle apresentou o melhor desempenho entre os métodos, superestimando os valores observados na média global (VM) em  $0,27 \text{ mm d}^{-1}$ , sendo a REQM de  $0,52 \text{ mm d}^{-1}$ , o erro absoluto médio (EAM) que fornece a magnitude média dos erros foi de  $0,39$ . O método apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de  $0,86$  e índice de concordância de  $0,95$ , comprovando boa concordância com o método padrão, sendo que, pelo “índice c”, o método pode ser considerado como ótimo.

Tabela 2. Avaliação dos métodos de cálculo da evapotranspiração de referência considerando o ano completo

Table 2. Evaluation of the methods for calculating the reference evapotranspiration considering the whole year

Modelo	ETo(est) = a + b ETo (PM)			Parâmetro					
	a	b	R <sup>2</sup>	r	VM (mm d <sup>-1</sup> )	REQM (mm d <sup>-1</sup> )	EAM (mm d <sup>-1</sup> )	d	c
Hargreaves-Samani	1,603	0,753	0,613	0,783	0,60	0,94	0,75	0,82	0,64
Blaney Criddle	0,444	0,957	0,860	0,928	0,27	0,52	0,39	0,95	0,88
Radiação	0,242	1,192	0,861	0,928	0,54	0,80	0,67	0,91	0,84

a – coeficiente linear da equação de regressão, b – coeficiente angular da equação de regressão, R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação, r – coeficiente de correlação de Pearson, VM – viés médio, REQM – raiz do erro quadrático médio, EAM – erro absoluto médio, d – índice de concordância de Willmott, c – índice de desempenho

Oliveira et al. (2008a), ao avaliarem várias estimativas de evapotranspiração de referência em Gameleira, PE, utilizando lisímetro de pesagem hidráulica, evidenciaram que a ETo estimada pelo método da Radiação foi a que mais se ajustou aos valores obtidos no lisímetro.

Tagliaferre et al. (2010) compararam diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para a região de Eunápolis-BA e verificaram que o método de Blaney Criddle e da Radiação apresentaram melhores desempenhos para as estimativas de ETo em todos os períodos de tempo estudados. Estes autores observaram também que o método de Hargreaves-Samani não foi satisfatório para a estimativa da evapotranspiração.

**Avaliação dos métodos para os períodos de alta e baixa demanda evapotranspirativa**

A relação entre os valores do método padrão e os diferentes métodos para estimar a ETo diária também foi avaliada em dois períodos diferentes do ano, um para o período de baixa demanda de evapotranspiração compreendido entre os meses de abril a setembro, e outro de

alta demanda compreendido entre outubro e março. Estes dois períodos do ano foram diferenciados com o objetivo de descobrir a equação mais precisa para cada um dos períodos estudados. No período de alta demanda de evapotranspiração as culturas necessitam de maior consumo de água, sendo assim o período de maior importância de se obter a ETo com a maior precisão possível.

A Tabela 3 mostra os resultados da comparação entre os métodos estudados e o método padrão para o período de outubro a março, considerando os 10 anos de dados.

Novamente o método de Blaney Criddle foi o melhor na estimativa da ETo quando comparado com o método padrão. Para este período, este método se apresenta com elevados índices de precisão e pequenos erros associados ao método. O viés médio do modelo foi negativo, mostrando que, em média, o modelo subestima o método padrão em apenas  $0,02 \text{ mm d}^{-1}$ . O índice de concordância de Willmott mostra que o modelo de Blaney Criddle se aproxima do método padrão. O método da Radiação Solar apresentou uma melhora na estimativa da ETo para o período de alta demanda quando comparado com o período anual. Houve uma redução dos



**Tabela 3.** Avaliação dos métodos de cálculo da evapotranspiração de referência para o período de alta demanda evapotranspirativa**Table 3.** Evaluation of the methods for calculating the reference evapotranspiration for the period of high evapotranspirative demand

Modelo	ETo(est) = a + b ETo (PM)			Parâmetro					
	a	b	R <sup>2</sup>	r	VM (mm d <sup>-1</sup> )	REQM (mm d <sup>-1</sup> )	EAM (mm d <sup>-1</sup> )	d	c
Hargreaves	2,663	0,603	0,636	0,797	0,90	1,13	0,95	0,74	0,59
Blaney Criddle	0,498	1,105	0,978	0,989	-0,02	0,22	0,18	0,99	0,98
Radiação	-1,263	1,396	0,935	0,967	0,50	0,79	0,64	0,92	0,89

a – coeficiente linear da equação de regressão, b – coeficiente angular da equação de regressão, R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação, r – coeficiente de correlação de Pearson, VM – viés médio, REQM – raiz do erro quadrático médio, EAM – erro absoluto médio, d – índice de concordância de Willmott, c – índice de desempenho

**Tabela 4.** Avaliação dos métodos de cálculo da evapotranspiração de referência para o período de baixa demanda evapotranspirativa**Table 4.** Evaluation of the methods for calculating the reference evapotranspiration for the period of low evaporative demand

Modelo	ETo(est) = a + b ETo (PM)			Parâmetro					
	a	b	R <sup>2</sup>	r	VM (mm d <sup>-1</sup> )	REQM (mm d <sup>-1</sup> )	EAM (mm d <sup>-1</sup> )	d	c
Hargreaves-Samani	1,561	0,658	0,587	0,766	0,29	0,72	0,55	0,85	0,65
Blaney Criddle	0,670	0,971	0,856	0,925	0,56	0,69	0,61	0,90	0,83
Radiação	0,523	1,016	0,774	0,880	0,58	0,81	0,70	0,87	0,77

a – coeficiente linear da equação de regressão, b – coeficiente angular da equação de regressão, R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação, r – coeficiente de correlação de Pearson, VM – viés médio, REQM – raiz do erro quadrático médio, EAM – erro absoluto médio, d – índice de concordância de Willmott, c – índice de desempenho

erros associados ao método e um aumento no coeficiente de determinação. Já o método de Hargreaves-Samani não é recomendado para o período de outubro a março. Nota-se que houve um aumento dos erros apesar do coeficiente de determinação ter aumentado pouco. O erro absoluto médio (EAM) foi de 0,95 mm d<sup>-1</sup>.

De acordo com Oliveira et al. (2008b) o método que mais superestimou a ETo, independentemente do intervalo de comparação, foi o de Hargreaves-Samani, para a localidade de Viçosa-MG. Resultados semelhantes também foram encontrados por Araújo et al. (2007), que testaram alguns métodos de evapotranspiração para a região de Boa Vista-RR. A Tabela 4 mostra os resultados da comparação entre os métodos estudados e o método padrão para o período de baixa demanda de evapotranspiração (abril a setembro), considerando os 10 anos de dados.

Para o período de abril a setembro, os métodos de Blaney Criddle e da Radiação apresentaram uma queda no desempenho na estimativa da ETo quando comparado com o período de alta demanda. Apesar disso, os métodos de Blaney Criddle e da Radiação podem ser considerados como muito bons. Apesar do método da Radiação ser classificado como muito bom, nota-se que para o período de baixa demanda, o método apresenta os maiores erros, mostrando que apresenta uma boa concordância com o método padrão, porém tende a superestimá-lo mais do que os outros métodos.

O método da Radiação solar estima muito bem a evapotranspiração em locais áridos, mas tende a superestimar em locais úmidos, como foi observado para a localidade. Já o desempenho obtido pelo método de Blaney Criddle pode ser explicado pelo fato de ter sido desenvolvido para condições semi-áridas dos Estados Unidos, não se ajustando às condições do clima da região em estudo. Fereres (1988) já

alertava que o método de Blaney-Criddle deve ser usado com cautela em locais de latitudes médias com grande variação de horas de sol nos meses de transição entre outono e primavera (Figura 2), fato ocorrido no período de baixa demanda.

O método de Hargreaves-Samani apresentou uma redução do coeficiente de determinação, porém foi o método que teve o menor erro absoluto médio (EAM). Este método mostrou uma melhora na estimativa da ETo para o período de baixa demanda quando comparado com o período de alta demanda, podendo ser classificado como mediano.

O método de Hargreaves-Samani apresenta seu pior desempenho nos meses em que ocorrem os menores valores de insolação, nos meses de setembro a março (Figura 1). Como o método foi obtido para a condição semi-árida, o seu desempenho apresenta uma redução na precisão da estimativa da evapotranspiração nos meses chuvosos (setembro a março). Além do mais, o método leva em consideração apenas as temperaturas máximas e mínimas; o comportamento das outras variáveis na evapotranspiração não pode ser observado pelo método.

Reis et al. (2007) verificaram bom ajuste entre o método padrão de Penman-Monteith e o método da Radiação, quando objetivaram a realização do estudo comparativo das equações empíricas para a estimativa da evapotranspiração de referência, para as condições climáticas dos municípios de Sooretama, Cachoeiro do Itapemirim e Venda Nova do Imigrante, localizados, respectivamente, nas regiões: Norte, Sul e Serrana do Estado do Espírito Santo.

Embora o método Hargreaves-Samani tenha apresentado desempenho inferior ao método padrão, constitui-se uma boa alternativa para estimativas de ETo na ausência de dados de radiação na superfície, velocidade do vento e umidade relativa.

## CONCLUSÕES

As correlações entre as estimativas de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) do método padrão com os métodos de Blaney Criddle e da Radiação Solar foram as que melhor se ajustaram ao período de alta demanda de evapotranspiração.

O método de Blaney Criddle subestimou os valores de ET<sub>o</sub> para o período de outubro a março, porém este método foi o que apresentou os melhores resultados, podendo ser classificado como ótimo, considerando o período anual.

O método de Hargreaves-Samani apresentou resultados inferiores aos outros métodos, sendo que no período de abril a setembro (baixa demanda), o método apresentou seu pior desempenho.

O método da Radiação apresentou bons índices de concordância e desempenho para os períodos anual e de outubro a março, porém este método apresenta os maiores erros no período de baixa demanda.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho, e ao INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, pela disponibilização dos dados utilizados.

## LITERATURA CITADA

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Araújo, W.F.; Costa, A.A.; Santos, A.E. dos. Comparação entre métodos de estimativas da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para Boa Vista- RR. Revista Caatinga, v.20, n.4, p.84-88, 2007.
- Barros, V.R.; Souza, A.P.; Fonseca, D.C.; Silva, L. B.D. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.4, n.2, p.198-203, 2009. [Crossref](#)
- Blaney, H.F.; Criddle, W.D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Washington: United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, 1950. 48p.
- 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, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução: Gheyi, H.R. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306p. (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 33).
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. Crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).
- Fereres, E. Manejo del riego en finca. In: Sanchez-Mora, J.I. (Ed.). II Curso Internacional de Ingenieria de Regadios. Brasília: Instituto de Cooperacion Iberoamericana, 1988. n.p.
- Frevert, D.K.; Hill, R.W.; Braaten, B.C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.109, n.2, p.265-270. 1983. [Crossref](#)
- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A.; Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering Agriculture, v.1, n.2, p.96-99, 1985.
- Liang, L.; Li, L.; Liu, Q. Temporal variation of reference evapotranspiration during 1961–2005 in the Taoer River basin of Northeast China. Agricultural and Forest Meteorology, v.150, n.2, p.298-306. 2009.
- Makkink, G.F. Ekzamento de la formulo de Penman. Netherlands Journal of Agricultural Science, v.5, n.3, p.290-305, 1957.
- Oliveira, L.M.M. de; Montenegro, S.M.G.L.; Azevedo, J.R.G. de; Santos, F.X. Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.3, n.1, p.58-67, 2008a. [Crossref](#)
- Oliveira, R.A.; Tagliaferre, C.; Sedyiyama, G.C.; Materam, F.J. V.; Cecon, P. R. Desempenho do irrigômetro na estimativa da evapotranspiração de referência. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2 p.166-173, 2008b. [Crossref](#)
- Pereira, A.R.; Villa Nova, N.A.; Sedyiyama, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- Priestley, C.H.B.; Taylor R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Monthly Weather Review, v.100, n.2, p.81-92, 1972. [Crossref](#)
- Reis, E.F. dos; Bragança, R.; Garcia, G. de O.; Pezzopane, M.; Tagliaferre, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco. Idesia, v.25, n.3, p.75-84, 2007.
- Silva, J.G.F. da; Ramos, H.E.A.; Igreja, G.C.; Freitas, R.A.; Da Rocha, G.A. Estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Marilândia – ES. In: Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 9.; Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 39., 2010, Vitória - ES. Anais. Vitória: SBEA, 2010. CD Rom.
- Tagliaferre, C.; Silva, R.; Rocha, F.; Santos, L. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunapolis - BA. Revista Caatinga, v.23, n.1. p.103-111, 2010.
- Willmott, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of American Meteorological Society, v.63, n.11, p.1309-1313, 1982. [Crossref](#)
- Willmott, C.J.; Ackleson, S.G.; Davis, R.E. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985. [Crossref](#)