

# **ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE JANUÁRIA-MG**

G. H. S. VIEIRA<sup>1</sup>; L. A. O. RAMOS<sup>2</sup>; P. A. V. LO MONACO<sup>3</sup>

**RESUMO:** Uma forma de verificar a eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), é a sua comparação com o método de Penman-Monteith (PM), considerado como padrão pela FAO. Devido à grande dificuldade de obtenção de dados meteorológicos que são empregados no cálculo da equação de PM, neste trabalho objetivou-se encontrar, dentre os métodos de Hargreaves, Blaney-Cridde modificado, Ivanov, Thornthwaite, Camargo e Camargo modificado, aquele que forneça valores de ET<sub>o</sub> mais próximos aos estimados pelo método de PM. Os valores de ET<sub>o</sub> foram obtidos através do *software* IRRIPLUS, pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves e Blaney-Cridde modificado. O cálculo dos demais métodos foi realizado através de planilhas eletrônicas, com os dados meteorológicos gerados pelo *software*. O método de Hargreaves foi o que mais se aproximou dos valores de PM, classificando-se como muito bom, já os métodos de Thornthwaite e Camargo Modificado classificaram-se como bons para as condições climáticas do município de Januária. Os métodos de Camargo, Blaney-Cridde modificado e Ivanov, classificaram-se como ruim e péssimo, respectivamente. Sendo, portanto, não recomendados para condições climatológicas do município de Januária.

**PALAVRAS-CHAVE:** agroclimatologia, manejo de irrigação, evapotranspiração, Januária.

## **COMPARATIVE STUDY OF METHODS FOR ESTIMATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR JANUÁRIA COUNTY-MG**

**SUMMARY:** A way to verify the efficiency of methods that estimates the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), is their comparison with the Penman-Monteith method (PM), considerate the standard by FAO. Due to the high difficulty of meteorological data obtaining, that are used in PM equation, this work had the objective to find, among the Hargreaves, modified Blaney-Cridde, Ivanov, Thornthwaite, Camargo and modified Camargo methods, the one of them that gives ET<sub>o</sub> values most close to the estimated by PM method. The ET<sub>o</sub> values were obtained with IRRIPLUS software to the Penman-Monteith, Hargreaves and

---

<sup>1</sup> Prof. da EAF-Santa Teresa/ES, M.S. Engenharia Agrícola. (27) 9977-2438. [ghsv2000@yahoo.com.br](mailto:ghsv2000@yahoo.com.br) ;

<sup>2</sup> Tecnólogo em Irrigação e Drenagem pelo CEFET – Januária;

<sup>3</sup> Prof<sup>a</sup>. da EAF – Santa Teresa/ES.

modified Blaney-Cridde methods. The computation of other methods was made with electronic sheets using meteorological data generated with IRRIPLUS software. The Hargreaves method was that showed values most close to the PM, classified like very good. The Thornthwaite and modified Camargo were classified like good to the meteorological conditions of Januária County. The Camargo, modified Blaney-Cridde and Ivanov methods were classified like bad and very bad, respectively. Thus, they are not recommended to estimate the ETo in this region.

**KEYWORDS:** agro climatology, irrigation management, evapotranspiration, Januária.

## INTRODUÇÃO

O clima é um dos fatores mais importantes que determinam as necessidades hídricas de uma cultura para crescimento e rendimento ótimos, sem qualquer limitação. As necessidades hídricas da cultura são normalmente expressas mediante a taxa de evapotranspiração (ET) em mm dia<sup>-1</sup> (DOORENBOS & KASSAM, 2000). Segundo MELLO *et al.* (1996) *apud* LIMA *et al.* (2001), existem entre 50 a 60 equações para a simulação da evapotranspiração, baseadas em dados meteorológicos.

Segundo PEREIRA, *et al.* (2002), os principais fatores climáticos que afetam a taxa de evapotranspiração são radiação líquida, temperatura, umidade relativa do ar e ventos. A escolha de um método de estimativa da evapotranspiração potencial depende de uma série de fatores. Sendo que o primeiro fator a ser observado é a disponibilidade de dados meteorológicos, pois métodos complexos, que exigem grande número de variáveis, somente terão aplicabilidade quando houver disponibilidade de todos os dados necessários.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Centro Federal de Educação Tecnológica de Januária, localizado no município de Januária-MG, a 15° 27' de latitude sul e 44° 22' de longitude oeste, temperatura média anual de 24,4 °C. A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada diariamente, depois calculada para períodos mensais para os métodos de Penman-Monteith (ALLEN *et al.* 1998), Hargreaves (JENSEN *et al.* 1990), Blaney-Cridde modificado (1950) *apud* (PEREIRA *et al.* 2002), Thornthwaite (1948) *apud* (PEREIRA *et al.* 2002), Ivanov (JENSEN, 1973) *apud* MAROUELLI *et al.* (2001), Camargo (1971) *apud* (PEREIRA *et al.* 2002) & Camargo simplificado (1962) *Apud*

(PEREIRA *et al.* 2002). Através do *software* Irripplus, foram calculados os valores diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), para os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves e Blaney-Cridde modificado. Através do *software Microsoft Excel*, utilizando os dados climatológicos da região de Januária gerados pelo *software* Irripplus, foram calculados os valores de ET<sub>o</sub> para os demais métodos.

Com base nos valores mensais de ET<sub>o</sub>, foram ajustadas equações de regressão linear, tendo-se como variáveis dependentes, os valores de ET<sub>o</sub> (PM) e, como variáveis independentes, os valores de ET<sub>o</sub> estimados pelos outros métodos. Assim, foram determinados o erro-padrão de estimativa ajustado pela equação de regressão, o coeficiente de correlação R<sup>2</sup> e um fator de calibração para cada método em relação ao método padrão (PM).

Foram comparados os valores de ET<sub>o</sub> obtidos com os métodos de Hargreaves, Blaney-Cridde Modificado, Ivanov, Thornthwaite, Camargo e Camargo Simplificado, com os obtidos pelo de Penman-Monteith, utilizando-se o coeficiente de desempenho (c), calculado através da multiplicação do coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) pelo coeficiente de exatidão (d) (equação 1) proposto por WILLMOTT *et al.* (1985), descrito por CAMARGO & SENTELHAS (1997) *apud* CONCEIÇÃO & MANDELLI (2005).

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum [(P_i - O) + (O_i - O)^2]} \right\} \quad (1)$$

Em que:

d – Coeficiente de exatidão;

P<sub>i</sub> - São valores estimados pelos outros métodos;

O<sub>i</sub> - São valores obtidos pelo método de Penman-Monteith; e

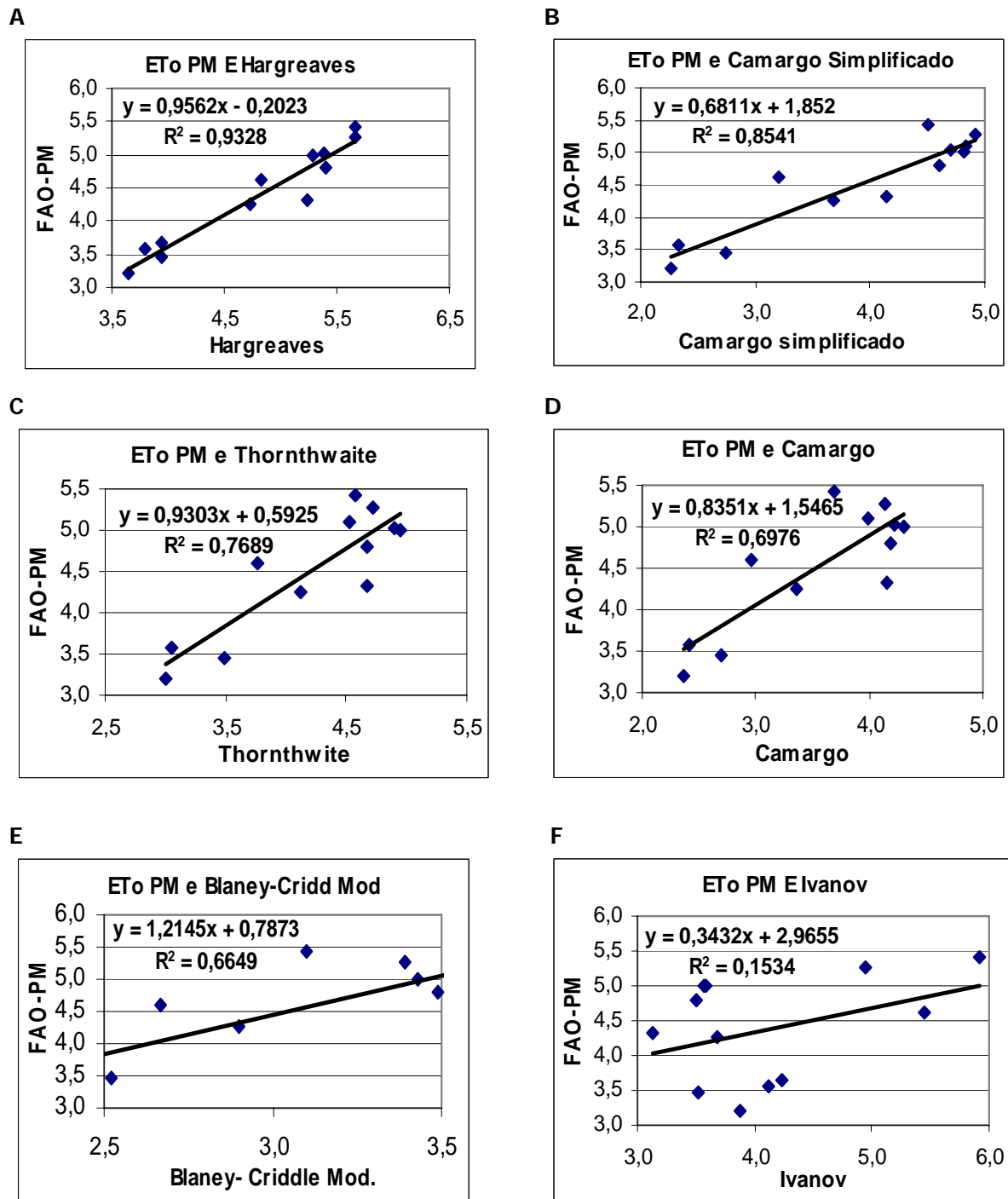
O - Média dos valores de Penman-Monteith.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresentam-se as relações dos valores médios mensais da ET<sub>o</sub>, em mm dia<sup>-1</sup>, correspondentes aos métodos de Hargreaves, Camargo simplificado, Thornthwaite, Camargo, Blaney-Cridde Modificado e Ivanov, comparativamente ao método de Penman-Monteith (PM).

Observa-se que dentre os métodos estudados, aquele que apresentou a melhor correlação em relação ao de Penman-Monteith, foi o de Hargreaves, seguido pelo de Camargo

Simplificado e de Thornthwaite. O método de Ivanov apresentou baixa correlação e obteve a maior dispersão dos valores de ETo em comparação ao de Penman-Monteith.



**Figura 1** - Regressão linear e coeficiente de correlação entre os métodos de Hargreaves (A), Camargo Simplificado (B), Thornthwaite (C), Camargo (D), Blane-Criddle modificado (E) e Ivanov (F) com o de Penman-Monteith.

Através dos resultados mostrados no quadro 1, obtidos por regressão linear, pode-se concluir que o método de Hargreaves é o que representa melhor correlação linear em relação ao método de Penman-Monteith, com um coeficiente de correlação de 0,93, sendo, portanto, o que melhor representa a ETo para a Região.

Os métodos de Camargo Simplificado e Thornthwaite também apresentaram bons índices de correlação e podem ser utilizados na determinação da ETo. O método de Thornthwaite por utilizar dados de temperatura média do mês e o de Camargo Simplificado por utilizar dados de temperaturas média anual e mensal, obtendo-se com estes valores, a ETo através de tabelas.

Já os métodos de Camargo, Blaney-Criddle e Ivanov, obtiveram uma maior dispersão e pouca correlação linear em relação ao método padrão de Penman-Monteith (PM), não sendo recomendável para as condições climatológicas de Januária.

**QUADRO 1** - Resumo das análises estatísticas entre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência estudados

MÉTODOS	a <sup>I</sup>	b <sup>II</sup>	R <sup>2</sup> <sup>III</sup>
	ETo (PM) = a + b . ETo (método)		
<b>HARGREAVES</b>	0,2023	0,9562	0,93
<b>CAMARGO SIMPLIFICADO</b>	1,852	0,6811	0,86
<b>THORNTHWAITE</b>	0,5925	0,9303	0,76
<b>CAMARGO</b>	1,5465	0,8351	0,69
<b>BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO</b>	0,7873	1,2145	0,66
<b>IVANOV</b>	2,9655	0,3432	0,15

I e II - Coeficientes linear e angular da equação de ajuste entre os métodos

III - Coeficiente de correlação

No quadro 2 são representados os Coeficientes de Correlação (R<sup>2</sup>), exatidão (d) e desempenho (c) obtidos através da Regressão Linear dos valores mensais da ETo para os métodos de Hargreaves, Camargo Simplificado, Thornthwaite, Camargo, Blaney-Criddle Modificado e Ivanov, com os valores obtidos pelo de Penman-Monteith (PM).

Através da análise de desempenho do quadro 4, observa-se que apesar do método de Thornthwaite ter sido desenvolvido para regiões de clima úmido (PEREIRA, 2002), este método conseguiu obter índice de desempenho satisfatório para o município de Januária-MG, classificando-se como bom para uma região de clima semi-árido.

**QUADRO 2** - Coeficiente de correlação ( $R^2$ ), exatidão (d) e desempenho (c) para valores mensais para ETo calculada para diferentes métodos de estimativa de ETo em relação ao método de Penman-Monteith (PM) considerado padrão (FAO)

MÉTODOS	$R^2$	d	c	DESEMPENHO
<b>HARGREAVES</b>	0,93	0,84	0,78	Muito Bom
<b>CAMARGO SIMPLIFICADO</b>	0,86	0,86	0,73	Bom
<b>THORNTHWAITE</b>	0,76	0,91	0,70	Bom
<b>CAMARGO</b>	0,69	0,71	0,49	Ruim
<b>BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO</b>	0,66	0,46	0,30	Péssimo
<b>IVANOV</b>	0,15	0,63	0,10	Péssimo

O método de Hargreaves que foi desenvolvido para regiões de clima semi-árido, foi o que obteve melhor índice de desempenho, atingindo o valor de 0,78, classificando-se como muito bom, comprovando o que diz a literatura. Já os métodos de Blaney-Cridde Modificado e Ivanov não obtiveram um desempenho satisfatório, classificando-se como péssimos para condições climatológicas locais.

## CONCLUSÃO

Os métodos apresentaram diferenças durante o período estudado em relação ao método padrão de Penman-Monteith (PM). Porém, o método de Hargreaves, que foi desenvolvido para regiões de clima semi-árido, como o do município de Januária, obteve melhor correlação e desempenho em comparação com os demais métodos estudados, sendo, portanto, o melhor método a ser usado na falta de dados climatológicos como radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. Sugere-se utilizar o método de Hargreaves, por utilizar apenas dados de temperaturas médias, mínimas e máximas do ar, os quais podem ser obtidos de equipamentos mais simples, como um termômetro de máxima e mínima.

Os método de Camargo Simplificado e Thornthwaite apresentaram bons índices de correlação e desempenho, podendo ser usados como alternativos para ser calcular a evapotranspiração de referência para o município de Januária.

Os métodos de Camargo, Blaney-Cridde modificado e Ivanov que foram classificados como ruim péssimo e péssimo, respectivamente, além de obterem baixa correlação em relação ao método de PM, não são recomendados na determinação da ETo para a região de Januária-MG.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G; PEREIRA, L.S; RAES, D; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/modules.php>> Acesso em: 01 out. 2006.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS**. Sete Lagoas: Revista Brasileira de Agrometeorologia, v 3, n 12, p. 303-307. 2005.

DOORENBOS, J; KASSAM. A. H. Tradução de: GHEYI, H.R. SOUSA, A.A. DAMASCENO, F.A. V, MEDEIROS. J.F. **Efeito de água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB. 2ª ed. 2000. 221 p.

JENSEN, M. E; BURMAN, R. D; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requeriments**. New York: ASCE, 1990. 332 p. <<http://www.agriambi.com.br/revista/v5n1/033.pdf>> Acesso em: 09 out. 2006.

LIMA. J. E. F.W; SILVA. C.L. OLIVEIRA. C.A. **Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em condições naturais de cerrado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande v.5, n.1, p.33-41, 2001. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v5n1/033.pdf>> Acesso em: 02 out. 2006.

MAROUELLI, W. A; SILVA, W. L. C; SILVA, H. R. **irrigação por aspersão em hortaliças – qualidade da água, aspectos do sistema, e método pratico de manejo**. 1º ed. Brasília. 2001. 111 p.

PEREIRA, A. R; ANGELOCCI, L. R; SENTELLHAS, P. C. **Agrometeorologia (fundamentos e aplicações práticas)**. Livraria e editora agropecuária. Guaíba, RS. 2002. 478 p.