

ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO DE RIO PARANAÍBA-MG

VINICIUS MENDES RODRIGUES DE OLIVEIRA¹; GEFFSON DE FIGUEREDO DANTAS²; LUIZ FABIANO PALARETTI²; ALEXANDRE BARCELOS DALRI²; MIQUEIAS GOMES DOS SANTOS² E JOÃO ALBERTO FISCHER FILHO²

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, viniciusmro91@gmail.com.

² Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, geffson@hotmail.com; lfpalaretti@fcav.unesp.br; dalri@fcav.unesp.br; miqueiasssjp@yahoo.com.br; joaofischer16@gmail.com.

1 RESUMO

A lâmina de água a ser aplicada é um fator de extrema importância para o sucesso dos cultivos irrigados. O objetivo foi verificar a correlação dos métodos de estimativa de ETo propostos por Hargreaves e Samani (HS), Camargo (C) e Jensen-Haise (JH), comparados com o método padrão Penman Monteith–FAO (PM-FAO) definindo-se coeficientes de ajuste regional para a região de Rio Paranaíba, MG. Foram utilizados dados climáticos coletados na estação meteorológica localizada em Rio Paranaíba, MG (19°09'47" S; 46°16'36" O, durante o período de 01 de julho de 2011 à 30 de junho de 2013. Para comparação foi utilizado o índice de desempenho (c), índice de exatidão (d), o erro padrão de estimativa (EPE) e o índice de correlação (r). O método de estimativa de evapotranspiração que apresenta melhor correlação com o método padrão (PM-FAO), é o método de JH, com um R² de 89%. De acordo com os resultados, sugere-se o uso da equação de JH para o cálculo da ETo para a região de Paranaíba, MG, pois esse modelo foi o que apresentou melhor estimativa da evapotranspiração. Com a correção dos dados de evapotranspiração todas as equações analisadas podem ser usadas para a estimativa de evapotranspiração se aproximando do método de PM-FAO.

Palavras-chave: Hargreaves e Samani, Jansen-Haise, Penman-Monteith, Equações empíricas.

OLIVEIRA, V.M.R.; DANTAS, G.F.; PALARETTI, L.F.; DALRI, A.B.; SANTOS, M.G.; FISCHER FILHO, J.A.
ESTIMATE OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE RIO PARANAÍBA REGION – MG

2 ABSTRACT

The water depth to be applied is a factor of utmost importance for the success of irrigated crops. The objective of this study was to evaluate the correlation of ETo estimate methods proposed by Hargreaves and Samani, Camargo and Jensen-Haise (JH) and the standard PenmanMonteith–FAO (PM-FAO) method, by setting up regional adjustment coefficients for the region of Rio Paranaíba, MG. Climate data collected at the meteorological station in Rio

Paranaíba, MG (19°09'47" S; 46°16'36" O) were used from July 1, 2011 to June 30, 2013. The performance index (c), accuracy index (d), standard error of estimate (SEE) and correlation index (r) were used for comparisons. Considering the methods to estimate evapotranspiration, the JH method presented the highest correlation with the standard method (PM-FAO), r^2 of 89%. According to the results, the JH equation for ETo calculation in the region of Paranaíba, MG is recommended, as this model presented the best evapotranspiration estimate. Correcting the evapotranspiration data, all study equations may be used to estimate evapotranspiration approaching the PM-FAO method.

Keywords: Hargreaves and Samani, Jansen-Haise, Penman-Monteith, empirical equations.

3 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente, os gastos excessivos com a água e os custos envolvidos nos processos produtivos agrícolas, remete a determinar com exatidão a quantidade de água a ser reposta pela irrigação em culturas comerciais. A Agência Nacional de Águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010), responsável por outorgar o uso de água de rios federais, contabilizou que somente 5,4 milhões de hectares eram irrigados no Brasil em 2010 dos 65,3 milhões de hectares cultivados nesse ano, demonstrando o potencial de aumento do uso desta técnica para elevar o Brasil a patamares produtivos de destaque. Por outro lado, a intensificação de pesquisas que versem sobre a difusão de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) para diferentes localidades é necessária como forma de obter a estimativa adequada da lâmina de irrigação, para o uso correto dos recursos hídricos, sem comprometer os incrementos na produtividade agrícola.

A evapotranspiração de cultura (ET_c) é o produto da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente de cultura (k_c). O k_c representa as características do vegetal, variando em função da arquitetura da planta, em seus distintos estádios de desenvolvimento. A ET_o é determinada por métodos diretos e indiretos, sendo os diretos de custo mais elevado e normalmente utilizados para pesquisa, não sendo viáveis em propriedades rurais. Os métodos indiretos estimam a ET_o baseado em variáveis climáticas, a exemplo do método de Penman-Monteith que é considerado padrão pela Food and Agriculture Organization - FAO (ALLEN et al., 1998). Embora sua parametrização se reflita em estimativas precisas, o principal inconveniente do método é a grande quantidade e variedade de informações, como por exemplo, de temperatura, umidade relativa, velocidade de vento, radiação solar que na maioria dos casos não são disponíveis para grande parte dos irrigantes.

Com isto, justifica-se a utilização de métodos de estimativa da ET_o que necessitem de uma menor quantidade de informações (GONÇALVES et al., 2009). Os métodos de Hargreaves e Samani e Makkink são representantes precisos de métodos empíricos da estimativa de ET_o, apresentando boa correlação com o método padrão (OLIVEIRA et al. 2010).

O método empírico de estimativa de evapotranspiração proposto por Hargreaves e Samani utiliza como variáveis de entrada temperaturas média, máxima e mínima e a radiação solar no topo da atmosfera (R_a ou Q_o). As temperaturas podem ser facilmente coletadas com termômetros, de máxima e de mínima, a radiação solar no topo da atmosfera pode ser estimada a partir da latitude e o dia do ano, conforme (ALLEN et al., 1998). A equação proposta por Camargo utiliza também a temperatura e R_a, e utiliza um fator de correção K, que é ajustado de acordo com a temperatura, e um fator D, que é determinado de acordo com

o período do cálculo da evapotranspiração, calculado por um ou mais dias (CAMARGO et al., 1999). O cálculo da evapotranspiração por Jensen-Haise se torna de mais fácil aplicação, pois a variável radiação incidente de onda curta é de fácil determinação, se tratando de uma constante tabelada em função dos meses do ano e latitude do local.

A variação dos valores estimados de ETo pelos métodos empíricos, em função da localidade de uso, pode ser atenuada pela adoção de coeficientes de ajuste que aproximam os valores estimados por estes aos estimados pelo PM-FAO. Segundo Borges e Menciondo (2007), estudando vários métodos de estimativa de ETo, concluíram que quando calibradas com coeficientes obtidos através de comparação com o PM-FAO os métodos empíricos apresentaram altos índices de confiabilidade ($c > 0,900$), relatando o melhor desempenho da metodologia proposta por Hargreaves & Samani, para sua região de estudo.

A região onde se encontra o município de Rio Paranaíba, MG se destaca na produção de grãos e hortaliças, sendo a maioria dos cultivos irrigados distribuídos em aproximadamente 35 mil ha (IBGE, 2014). A região climática (Cwb) onde se encontra esta cidade vai além dos limites do município, abrangendo varias cidades vizinhas, e ainda este clima é encontrado em diversas regiões que são responsáveis para abastecer o mercado de hortifrúti. A determinação da evapotranspiração é muito importante para o manejo correto da irrigação, e a utilização de fórmulas para sua estimativa se torna muito viável de maneira regional. Portanto, objetivou-se verificar a correlação dos métodos de estimativa de ETo propostos por Hargreaves e Samani, Camargo e Jensen-Haise, com o método padrão Penman Monteith-FAO (PM-FAO) definindo-se coeficientes de ajuste regional para a região de Rio Paranaíba, MG.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos utilizados no estudo foram coletados na cidade de Rio Paranaíba, MG (19°09'47" S; 46°16'36"O; e com 874 m de altitude). A estação climatológica é da marca Davis, modelo Wireless Vantage Pro 2, pertencente à Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba.

O clima desta região é definido por uma estação fria e seca nos meses de abril a setembro e outra quente e chuvosa de outubro a março. Apresenta temperatura média mínima de 18°C e média anual igual ou inferior a 22°C, de acordo com a classificação de Koppen, o mesmo é do tipo tropical de altitude (Cwb) com precipitação pluviométrica média de 1600 mm ano⁻¹.

A estação meteorológica automática onde foram registrados os dados está instalada sobre uma área vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum*, Flugge) de 0,1 m de altura, com 10 m de bordadura irrigada. Foram coletados dados horários de temperaturas máxima ($T_{\text{máx}}$), temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$), umidade relativa (UR), velocidade de vento a 2 m de altura (U_2) e radiação solar (R_a). Para a estimativa da evapotranspiração foram utilizados os métodos de Penman Monteith-FAO (PM-FAO) (Equação 1), Hargreaves e Samani (HS) (Equação 2), Camargo (C) (Equação 3) e Jensen-Haise (JH) (Equação 4). Os valores das variáveis climatológicas foram condensados em médias diárias, com o auxílio do programa EXCEL 2010[®], para posterior aplicação nas equações de estimativa.

$$ET_0 = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \times \frac{900}{T_{\text{med}} + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

Em que: ET_0 - evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ; Δ - declividade da curva de pressão de vapor na saturação *versus* temperatura do ar, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; R_n - saldo de radiação na superfície do cultivo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; G - fluxo total de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$; γ - coeficiente psicrométrico, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; U_2 - velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ; e_s - pressão de vapor na saturação, kPa ; e_a - pressão de vapor atual, kPa ; T_{med} - temperatura média do ar tomada a 2 m de altura, $^\circ\text{C}$;

$$ET_0 = 0,0023 \times (T_{\text{med}} + 17,8) \times (T_x - T_i)^{0,5} \times R_a \quad (2)$$

Em que: T_{med} , T_x e T_i temperaturas média, máxima e mínima, $^\circ\text{C}$; R_a - radiação solar no topo da atmosfera, mm dia^{-1} .

$$ET_0 = R_a \times T_{\text{med}} \times K \times D \quad (3)$$

Em que: K - fator de ajuste igual a 0,01, para T_a (temperatura média anual do local) até $23,5^\circ\text{C}$; 0,0105 para T_a de $23,6$ a $24,5^\circ\text{C}$; 0,011 para T_a de $24,6$ a $25,5^\circ\text{C}$; 0,0115 para T_a de $25,6$ a $26,5^\circ\text{C}$; 0,012 para T_a de $26,6$ a $27,5^\circ\text{C}$; e 0,013 para T_a superior a $27,5^\circ\text{C}$; D - duração do período (neste trabalho considerado igual a um, por ser ET_0 diária).

$$ET_0 = \frac{(0,025T + 0,08)G}{59} \quad (4)$$

Em que: ET_0 - evapotranspiração potencial, mm dia^{-1} ; T - temperatura do ar, $^\circ\text{C}$; G - radiação incidente de onda curta, $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$.

Para as estimativas de ET_0 foram utilizados dados climáticos de 01 de julho de 2011 à 30 de junho de 2013. A ET_0 obtida por PM-FAO foi considerada como padrão para comparação com os demais métodos, por essa ser considerada o método mais preciso, por integrar maior quantidade de parâmetros climatológicos (SYPERRECK et al., 2008).

Após o cálculo das estimativas de ET_0 , foi feita análise de regressão utilizando um modelo linear, o qual comparou as equações de PM-FAO com os HS, C e JH, a partir das equações geradas pela comparação, sendo dados obtidos por PM-FAO a variável dependente (x) e as outras equações a variável independente (y). Os dados foram corrigidos e novamente correlacionados com a equação de PM-FAO, para verificar se a correção através da equação gerada.

Utilizando o índice de concordância de Willmott (1981) foi feito o estudo comparativo entre as equações HS, C, JH e o método de PM-FAO, conforme a Equação 5 (Eq.5).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (5)$$

Em que, P_i – valor estimado por um dos métodos; O_i – valor calculado por PM-FAO; O – média dos valores calculados por PM-FAO.

O parâmetro estatístico utilizado para analisar as comparações, foi o índice de desempenho “c” adotado por Camargo e Sentelhas (1997), que indica o desempenho dos métodos, utilizando os índices de precisão “r” determinados pela regressão e o índice de exatidão “d” (Equação 6).

$$c = r d \quad (6)$$

Na Tabela 1 estão apresentados os critérios para interpretar o desempenho dos métodos utilizando o índice “c” propostos por Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 1. Critérios para interpretação do desempenho dos métodos de estimativa de ET_0 , por meio do índice “c”

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	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

Foi calculado o erro padrão de estimativa (EPE) comparando os valores estimados pelos métodos de HS, C e JH com os valores obtidos por PM-FAO, comparando o EPE antes e após a correção dos dados com as equações propostas na regressão. Hopkins (2014) propôs a classificação pelo índice de correlação (r), classificando-o de acordo com sua amplitude (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação (r)

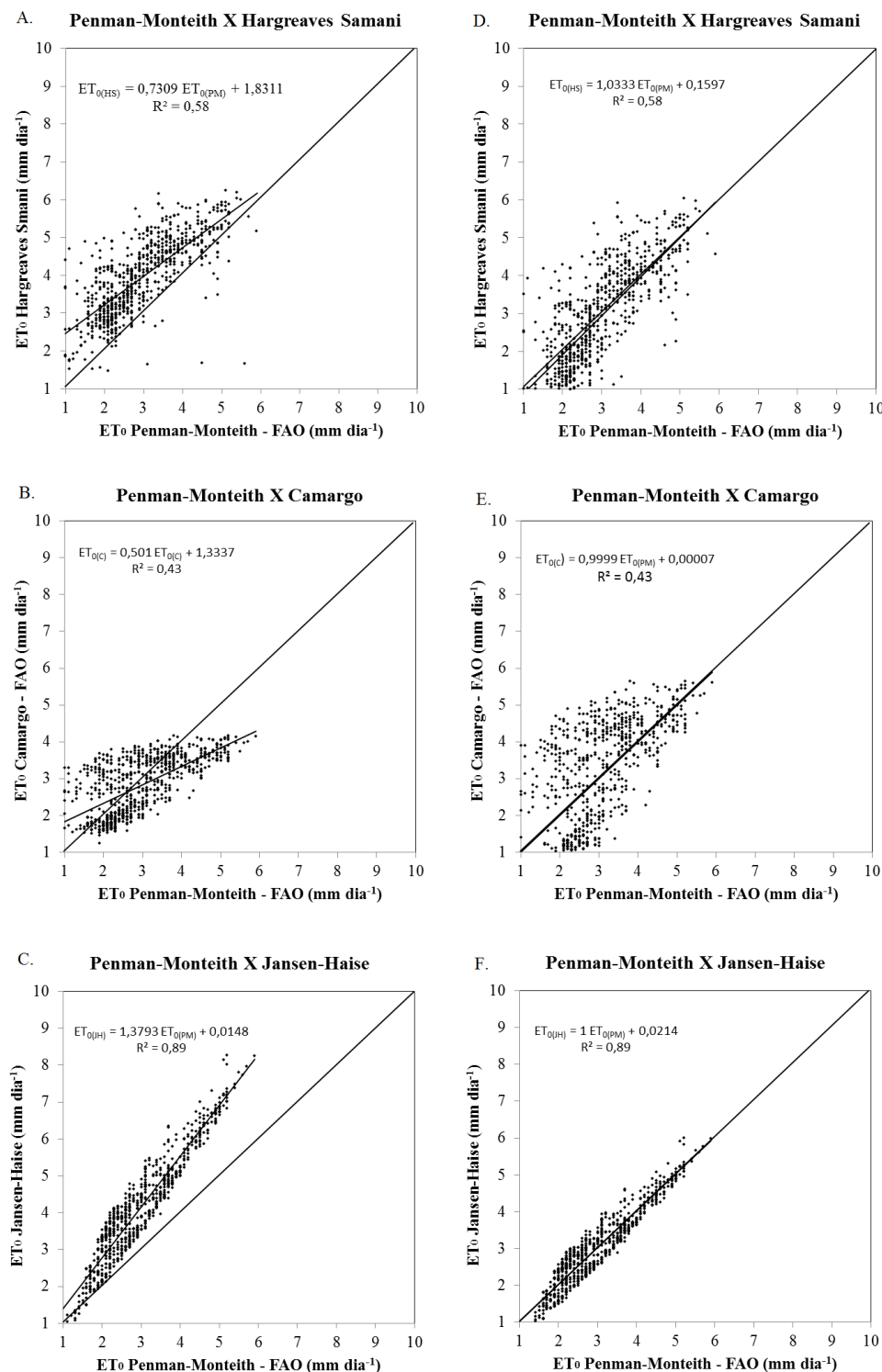
Coeficiente de correlação (r)	Classificação
0,0 – 0,1	Muito Baixa
0,1 – 0,3	Baixa
0,3 – 0,5	Moderada
0,5 – 0,7	Alta
0,7 – 0,9	Muito Alta
0,9 – 1,0	Quase Perfeita

Fonte: Hopkins (2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 expressa a relação entre os métodos de HS, JH e C, e o método de PM-FAO, antes e após a correção dos dados com as equações geradas a partir das retas. Conforme a Figura 1, o método de estimativa de evapotranspiração que apresenta melhor correlação com PM-FAO, é o método de JH, com um R^2 de 89%, seguido do método de HS, com R^2 de 58% e pelo método C, com R^2 de 43%.

Figura 1. Relações entre os valores diários da evapotranspiração de referência calculada pela equação de PM-FAO e: A. Hargreaves Samani; B. Camargo; C. Jansen-Haise; e relações entre os valores diários da evapotranspiração de referência calculada pela equação de PM-FAO e: D. Hargreaves Samani; E. Camargo; F. Jansen-Haise; após a correção.



Para a região em estudo e na carência de dados climatológicos, recomenda-se o método de JH para estimativa da ET_0 , pois este apresenta melhor correlação com o PM-FAO,

e conforme os resultados possui maior correlação ($R^2 = 89\%$). O coeficiente R^2 encontrado nos três métodos de estimativa de ET_o , indicam a possibilidade de uso das equações ajustadas nesta região, concordando com o observado por Lima, Araújo e Silva (2010).

Os coeficientes angular (a) e linear (b), das equações de regressão linear encontradas antes da correção foram melhores para o método de JH, pelo fato do coeficiente “a” se aproximar de 1 e o coeficiente “b” se aproximar de 0, aliados a um alto R^2 .

Após a correção, todos as equações tiveram a aproximação do coeficiente “a” à 1 e o “b” à 0, indicando que o método estudado é semelhante a PM-FAO, uma vez que a equação da reta de regressão aproxima-se da equação $y = x$, apresentando assim, coeficiente angular igual a 1 e coeficiente linear igual a 0.

Analisando o índice de exatidão (d) (Tabela 3), antes da correção dos dados, todos os métodos avaliados apresentavam valores abaixo de 0,80, com o extremo de 0,77 para JH. Após a correção, com os coeficientes gerados na equação de regressão, observa-se um aumento no índice de exatidão até 0,99, mostrando que todos os métodos de estimativa em estudo apresentam alta exatidão se corrigidos para a localidade. Resultados semelhantes aos relatados por Gonçalves et al. (2009) e Conceição (2003) para os métodos de JH e HS.

Tabela 3. Índices de exatidão (d), índice de desempenho (c), erro padrão de estimativa (EPE) e classificação do índice de desempenho, para os dados de evapotranspiração antes e após a correção dos dados.

Método de Estimativa	Antes da Correção				Após a Correção			
	d	C	Classificação *	EPE (%)	d	C	Classificação *	EPE (%)
PM	-	-	-	100	-	-	-	100
HS	0,673	0,512	Sofrível	133,5	0,980	0,746	Bom	97,9
C	0,768	0,502	Mau	95,26	0,983	0,642	Mediano	99,99
JH	0,771	0,731	Bom	138,4	0,997	0,956	Ótimo	100,3

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

Antes da correção dos dados a classificação do desempenho (“c”) indica que o método de JH é bom, e de acordo com Camargo e Sentelhas (1997) pode ser usado sem correção dos dados. Por outro lado, os métodos de HS e C apresentaram desempenho sofrível e mau, e com isso não são indicados para uso na estimativa de ET_o sem a correção (Tabela 3).

Após a correção dos dados, método de JH apresentou 0,95 no índice “c” de desempenho, classificado como “ótimo”, ratificando-se como o método mais indicado. Para os demais métodos observa-se melhora no desempenho, com valores de 0,75 e 0,65, para HS e C, classificando-os como “bom” e “mediano”. Sypereck, Klosowski e Furlanetto (2008), trabalhando também com comparação entre métodos de estimativa de ET_o , tomando como padrão o método PM-FAO, com dados climáticos de Palotina, Estado do Paraná, também observaram que o desempenho do método de HS foi classificado como sendo “bom”, e para os métodos de C e JH a classificação desses método conforme o índice “c” foi “bom” contrapondo os resultados obtidos nesse trabalho. Palaretti et al. (2014), referenciam que o método de HS apresenta altos índices de precisão “r”, de desempenho “c”, exatidão “d” próximo da unidade, para a maioria das regiões citrícolas do Estado de SP, e sugerem ser este um método adequado para estimativa da ET_o nestas localidades.

O EPE mostra que os métodos de HS e JH possuem a tendência de superestimar os valores de ET_o calculados, e o método de C a tendência de subestimar. Após a correção todos os métodos de estimativa se aproximaram do método de PM-FAO, sendo o método de HS o

mais distante com EPE de 97,9%, e os demais com EPE de 99,9 e 100,3% para de C e JH, respectivamente.

Os coeficientes de correlação foram 0,76; 0,66 e 0,94, para os métodos de HS, C e JH, classificando-os como alta, muito alta e quase perfeita (HOPKINS, 2000), mostrando que o método de JH apresentou a melhor correlação com o método PM-FAO.

6 CONCLUSÕES

A utilização da equação de JH é o mais indicado para a região de Rio Paranaíba-MG, por apresentar maior R^2 , coeficientes angulares e lineares, igual a 1 e 0, respectivamente, quando comparados com PM-FAO, antes da correção dos dados.

Com a correção dos dados com as equações propostas através da regressão linear, as equações JH, HS e C podem ser utilizadas para a estimativa de evapotranspiração se aproximando do método padrão de PM-FAO, para a região de Rio Paranaíba-MG.

7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Agricultura irrigada**. Brasília, DF, 2010. 107 p.

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**, Campina Grande, 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, p. 89-97, 1997.

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.

GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R.; VALNIR FILHO, 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, 2009.

HOPKINS, W. G. Correlation coefficient. Disponível em:

<<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

IBGE. Produção agrícola municipal. Disponível em:

<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=315550&idtema=123&search=minas-gerais|rio-paranaiba|producao-agricola-municipal.html>>. Acesso em: 1 jul. 2014.

LIMA, J. R. A.; ARAÚJO, R. S.; SILVA, F. S. Análise comparativa entre os métodos de evapotranspiração de referência em Bebedouro – PE, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; BISPO, R. C.; SANTOS, I. M. S.; ALMEIDA, A. C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 2, p. 104-109, 2010.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Análise da sensibilidade dos componentes da equação de Hargreaves – Samani para a região de Bebedouro – SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 2, p. 299-306, 2014.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, M. G.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 603-609, 2008.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Delaware, v. 2, n. 2, p. 184-94, 1981.