

**NOTA TÉCNICA:****ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM PRECISÃO**José Eduardo Pitelli Turco<sup>1</sup><sup>1</sup> - Doutor em Engenharia, Prof. Adjunto III da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, email: jepturco@fcav.unesp.br**Palavras-chave:**

Hargreaves  
Penman-Monteith FAO-56  
evapotranspiração de referência

**RESUMO**

Uma forma de verificar a eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é realizar comparativo com a equação de Penman-Monteith FAO-56, recomendado pela FAO. Com este trabalho, o objetivo foi o de avaliar a equação de Hargreaves, comparando-a com a equação de Penman-Monteith FAO-56, a fim de verificar a possibilidade de estimar-se a evapotranspiração de referência para as condições climáticas do município de Jaboticabal-SP, bem como fazer a calibração local dessa equação. Para esse fim, foram utilizados dados do período de 01/01/2009 a 31/12/2015 de uma estação meteorológica automatizada instalada na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, *Campus* de Jaboticabal-SP. A análise dos resultados com precisão foi realizada aplicando técnicas que verificam a integridade dos dados meteorológicos e utilizando metodologias de análise dos dados médios e desvios padrões da  $ET_0$ . Foi realizada a calibração local da equação de Hargreaves por meio do ajuste do parâmetro empírico HE da equação. A integridade dos dados da estação meteorológica foi aceitável. Conclui-se que a equação de Hargreaves é uma opção para estimar os valores de  $ET_0$  em clima do tipo subtropical, em locais em que a disponibilidade de dados climáticos é limitada.

**Keywords:**

Hargreaves  
Penman-Monteith FAO-56  
reference evapotranspiration

**ESTIMATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION WITH PRECISION****ABSTRACT**

One way to verify the efficiency of estimation methods of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) is to compare with FAO-56 Penman-Monteith equation, recommended by FAO to estimate the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ). The objective of this work was to evaluate the Hargreaves equation, comparing it to the FAO-56 Penman-Monteith equation, aiming to verify the possibility of estimating reference evapotranspiration for the climatic conditions of Jaboticabal, SP and calibrate this equation. For this purpose, we collected data from Jan/01/2009 to Dec/31/2015 in an automated meteorological station installed at the Department of Rural Engineering in FCAV / UNESP, Jaboticabal, SP Campus Experimental Area. The analysis of the results with precision was carried out applying techniques that verify the integrity of the meteorological data as well using methodologies of analysis of mean data and standard deviations from  $ET_0$ . Local calibration of the Hargreaves equation was performed by adjusting the empirical HE parameter of the equation. The integrity of the weather station data was acceptable. The Hargreaves equation was found to be an option to estimate  $ET_0$  values in subtropical climate in places where climatic data availability is scarce.

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é definida como a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, coberta por uma cultura hipotética, com altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de  $70 \text{ s m}^{-1}$  e albedo de 0,23, sem restrições de umidade, crescendo ativamente e cobrindo completamente a superfície do solo (ALLEN *et al.*, 2006).

Estimativas da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e coeficientes de cultura (KC) são amplamente utilizados para estimar as necessidades de água de culturas. Essas estimativas são importantes para o planejamento da irrigação (HARGREAVES, 1994).

A equação de Penman-Monteith FAO-56 é padrão para estimar a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) na escala diária e mensal em todos os climas e pode ser usada globalmente sem qualquer calibração local e até para estimativas horárias, devido à incorporação de parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos, sendo validada em diferentes ambientes nos quais se utilizam medidas precisas obtidas a partir de lisímetros. O processo de cálculo exige medições confiáveis de elementos meteorológicos tais como: temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento (LIMA JÚNIOR *et al.*, 2016). Porém, há um número limitado de estações meteorológicas nas quais essas variáveis são medidas de modo eficiente. Portanto, métodos alternativos que demandem menos quantidade de variáveis meteorológicas para estimar a  $ET_0$  têm sido uma solução viável para contornar esse problema (FERREIRA *et al.*, 2018).

Na literatura são escassos os trabalhos que comparam métodos simples de estimativa da evapotranspiração de referência com o método de Penman-Monteith FAO-56, recomendado pela FAO como padrão, com precisão. Para se fazerem essas comparações com precisão, primeiramente é necessário verificar a integridade dos dados meteorológicos.

Os dados meteorológicos provenientes das estações automáticas devem apresentar qualidade para a estimativa da  $ET_0$ . Avaliações da integridade e qualidade dos dados meteorológicos precisam ser realizadas antes dos dados serem utilizados em equações de estimativa da  $ET_0$  (TURCO &

CARLETO, 2017).

Verifica-se também na literatura que, para comparação de métodos simples com o método padrão, é utilizada a análise de regressão linear e considerado o modelo linear ( $y = ax + b$ ), no qual a variável dependente são os valores médios da estimativa da  $ET_0$  pelo método de Penman-Monteith FAO-56 e a variável independente são os valores médios diários da estimativa da  $ET_0$  pelo método simples.

Outro procedimento a ser adotado para comparação de métodos simples com o método padrão, com precisão, é aplicar uma metodologia que considera os desvios-padrão diários (erros) da  $ET_0$ , dos métodos comparados. Se a linha de tendência ajustada aos pontos experimentais, obtidos diariamente pelo método estudado, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56, e os respectivos desvios-padrão diários não derem uma distribuição linear, não poderá ser utilizada a análise de regressão linear para comparação dos valores médios diários da estimativa da  $ET_0$ , ou seja, não poderá ser utilizada a estação meteorológica escolhida, ou deverá ser feita a substituição por sensores com maior acurácia para que a linha de tendência ajustada aos pontos experimentais e os respectivos desvio-padrão deem uma distribuição linear.

A irrigação de precisão é a prática de aplicar água em quantidades que atendam à demanda precisa desse recurso pelas plantas cultivadas. Se não for verificada a integridade e qualidade dos dados meteorológicos que são utilizados em equações de estimativa da  $ET_0$  e se não for aplicada uma metodologia que considera os desvios-padrão diários (erros) da  $ET_0$ , nos métodos comparados, o manejo da água de irrigação poderá ser inadequado e avaliações de métodos alternativos em relação a equação de Penman-Monteith FAO-56 poderão levar a resultados inconsistentes.

Antes de aplicar um método de estimativa da evapotranspiração de referência para determinado local, é necessário verificar o desempenho desse método e, quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa. Esse desempenho tem sido analisado com a comparação dos métodos em estudo ao método de Penman-Monteith FAO-56 (PILAU *et al.*, 2012; BORGES

JÚNIOR *et al.*, 2012).

É de grande importância o conhecimento dos métodos mais simples de estimativa da evapotranspiração de referência que demandam dados de fácil obtenção. Os métodos baseados na temperatura do ar têm sido frequentemente utilizados ou recomendados, conforme destacado por Moura *et al.*, (2013). Um método alternativo que vem sendo utilizado por vários estudos (RAZIEI & PEREIRA.; 2013; HEYDARI *et al.*, 2013; MEHDIZADEH *et al.*, 2016) é a equação de Hargreaves (HARGREAVES & SAMANI, 1985).

Entre os métodos que podem ser usados com apenas dados de temperatura, destacam-se o de HARGREAVES (1994). Tal método pode apresentar correções locais de caráter diário, semanal ou mensal que podem afetar a precisão da estimativa do método. Existem estudos que mostram que essa equação ajustada pode estimar com acurácia a  $ET_0$  diária (BERTI *et al.*, 2014; FENG *et al.*, 2017).

O método de HARGREAVES (1994) superestima a  $ET_0$  em locais de clima úmido, conforme observado por CERVANTES-OSORNIO *et al.* (2013).

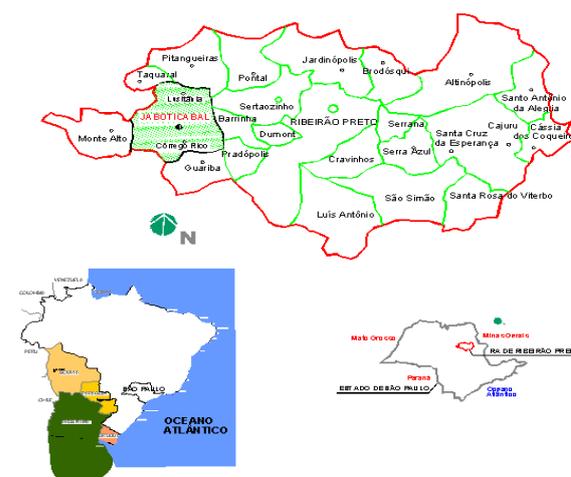
O desempenho da equação de HARGREAVES (1994) no Vale de Bekaa – Líbano –, foi avaliado por BACHOUR *et al.* (2013) por meio da comparação com o método de Penman-Monteith FAO-56. Nas condições estudadas, a equação de Hargreaves superestimou a  $ET_0$  diária, semanal e mensal, em 23%, 17% e 12%, respectivamente, em comparação com a de Penman-Monteith FAO-56.

MENDICINO & SENATONE (2013) fizeram a calibração local e regional da equação de HARGREAVES (1994) para o sul da Itália, comparando com a equação de Penman-Monteith FAO-56, utilizando-se dados do período de 1994 a 2011 de 34 estações costeiras e 103 no interior. A melhoria no desempenho da equação regional em relação a original foi de 22%.

Com este trabalho, o objetivo foi fazer uma avaliação com precisão da equação de Hargreaves para verificar a possibilidade de estimar a evapotranspiração de referência para as condições climáticas do município de Jaboticabal-SP, comparando-a com a equação de Penman-Monteith FAO-56, e fazer a calibração local dessa equação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, *Campus* de Jaboticabal-SP, situada a 21°15'22" de latitude sul, 48°18'58" de longitude oeste e altitude de 575 m, na cidade de Jaboticabal-SP. Jaboticabal situa-se na região agropecuária noroeste do estado de São Paulo, na região administrativa e de governo de Ribeirão Preto, composta por outros 25 municípios conforme mapa mostrado na Figura 1.



**Figura 1.** Mapa Brasil, Estado de São Paulo, região Administrativa e de Governo de Ribeirão Preto e Jaboticabal-SP. Fonte: <https://www.achetudoeregiao.com.br/sp/jaboticabal/localizacao.htm>

O clima de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (subtropical). Na área experimental, foi plantada grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), cobrindo totalmente o solo.

Os dados meteorológicos foram fornecidos pelo Laboratório de Instrumentação, Automação e Processamento do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP-*Campus* de Jaboticabal. Esses dados foram obtidos em uma estação meteorológica automática da marca Davis Instruments instalada em área experimental do Departamento de Engenharia Rural (DER).

A estação possui os seguintes sensores: temperatura e umidade relativa do ar, modelo 7859; velocidade do vento, modelo 7911; radiação solar global, modelo 6450; todos da marca Davis Instruments. Os sensores de radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar foram

colocados a 1,5 metros acima da superfície gramada e os sensores de velocidade do vento, a 2 metros da superfície gramada.

Foram utilizados dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar global, no período de 01/01/2009 a 31/12/2015.

A integridade dos dados da estação meteorológica automática da marca Davis Instruments foi avaliada pelas técnicas descritas por ALLEN (1996).

Os dados da estação meteorológica automática da marca Davis Instruments foram comparados aos da estação meteorológica automática da marca Campbell Scientific (Estação de Referência), instalada ao seu lado. Metodologia semelhante foi utilizada e descrita por TURCO & CARLETO (2017).

Foi obtida a estimativa diária da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelos seguintes métodos: HARGREAVES (1994) e Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN *et al.*, 2006). A seguir, é descrita a equação original dos métodos que foram utilizados.

HARGREAVES (1994) propôs para o cálculo da evapotranspiração de referência, a seguinte equação:

$$ET_{0H} = 0,0023 RA (T^{\circ}C + 17,8) TD^{HE} \quad (1)$$

em que,

$ET_{0H}$  = evapotranspiração de referência, em gramado,  $mm \text{ dia}^{-1}$ ;

RA = radiação extraterrestre ( $mm \text{ dia}^{-1}$ );

$T^{\circ}C = T_{max} + T_{min}/2$  (temperatura máxima diária do ar mais a temperatura mínima diária do ar, em  $^{\circ}C$ , dividido por dois);

$TD = T_{max} - T_{min}$  (temperatura máxima diária do ar menos a temperatura mínima diária do ar, em  $^{\circ}C$ ); e

HE = expoente empírico, HE = 0,5;

Para cálculo da evapotranspiração referência ALLEN *et al.* (2006) propuseram:

$$ET_{0\_PM} = \frac{0,409 \Delta (Rn - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right)^v (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34v)} \quad (2)$$

em que,

$ET_0$  = evapotranspiração de referência, em gramado,  $mm \text{ d}^{-1}$ ;

Rn = radiação líquida,  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;

G = fluxo de calor no solo,  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;

T = temperatura média do ar,  $^{\circ}C$ ;

V = velocidade média do vento a 2m de altura,  $m \text{ s}^{-1}$ ;

$(e_s - e)$  = déficit de pressão de vapor, kPa;

D = curva de pressão de vapor,  $kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ ;

$\gamma$  = constante psicrométrica,  $kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ ; e

900 = fator de conversão.

Para a avaliação dos dados médios diários da  $ET_0$  foi utilizada análise de regressão e considerado o modelo linear ( $y = ax + b$ ), no qual a variável dependente foi o método de Penman-Monteith FAO-56 e as estimativas da  $ET_0$  pelo método estudado foi a variável independente.

Para atingir o objetivo deste trabalho, foi aplicada a técnica de TURCO *et al.* (1994) nos métodos estudados para determinação dos desvios-padrão diários da  $ET_0$ .

Para a análise dos resultados com precisão, considerando-se os desvios-padrão (erros) da  $ET_0$ , foram utilizadas as metodologias de VUOLO (1996), da transferência do erro da variável independente para a variável dependente, o método dos mínimos quadrados e a avaliação da qualidade de um ajuste.

Um critério de avaliação da qualidade do ajuste é essencialmente um método para se determinar se a curva ajustada foi boa em relação aos pontos experimentais. O critério utilizado para avaliação da qualidade de ajuste foi o Teste de  $X^2$  reduzido, sendo a quantidade  $X^2$  reduzido definida como:

$$X_{red}^2 = \frac{X^2}{v} \quad (3)$$

em que,

$X^2$  = a soma dos quadrados das distâncias dos pontos experimentais à curva ajustada; e

v = o número de graus de liberdade do ajuste.

Como n é o número de pontos experimentais e p o número de parâmetros ajustados,  $v = (n-p)$ .

Após a obtenção dos  $X_{red}^2$ , a avaliação da qualidade de ajuste foi feita por meio da metodologia de VUOLO (1996), que relaciona v com  $X_{red}^2$ , permitindo se obter, para cada v, um intervalo de confiança P = 98%, para os valores de  $X_{red}^2$ .

Na metodologia de VUOLO (1996), os valores de v vão até 160; entretanto, em nosso

trabalho,  $\nu = 235$ , que corresponde aos 237 dias do anos utilizados no estudo e aos dois parâmetros ajustados.

Foram feitos os seguintes procedimentos para determinar o  $\chi_{red}^2$  (1% e 99%):

PROGRAMA MICROSOFT EXCEL / FUNÇÃO ESTATÍSTICA/ INV.QUI para  $\nu = 235$  e 1% é obtido  $X^2 = 288,35$ ; portanto  $\chi_{red}^2 = \frac{X^2}{\nu} = 1,227$

PROGRAMA MICROSOFT EXCEL / FUNÇÃO ESTATÍSTICA/ INV.QUI para  $\nu = 235$  e 99% é obtido  $X^2 = 187,32$ ; portanto  $\chi_{red}^2 = \frac{X^2}{\nu} = 0,798$

Pode-se afirmar com 98% de confiança que:  $0,798 < \chi_{red}^2 < 1,227$

Foi realizado a calibração local da equação de Hargreaves ( $ET_{0HL}$ ) por meio do ajuste do parâmetro empírico HE da equação (Equação 1).

Para calibração local da equação, foi utilizada a metodologia utilizada por TRAJKOVIC (2007), utilizando os dados meteorológicos dos anos ímpares. Para validação da equação foi utilizado os dados meteorológicos dos anos pares. Essa metodologia reduz o efeito *bias* que pode ocorrer de um ano para o outro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das técnicas descritas por ALLEN (1996), foi realizada a análise da integridade dos dados. Os resultados seguintes referem-se ao período de 2009, pois os resultados dos anos

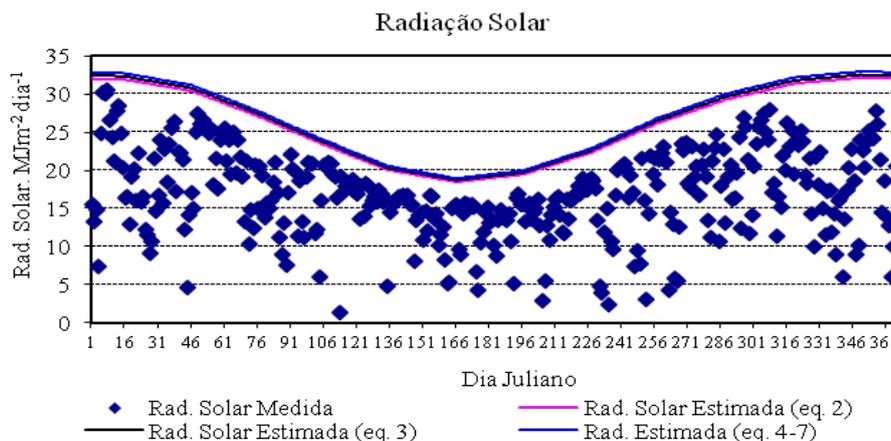
seguintes (2010, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015) apresentaram semelhança.

Na Figura 2, de acordo com a observação da radiação solar medida pela Davis, pode-se identificar que a ela é de qualidade, pois apresenta valores inferiores ao apresentado pela radiação solar que foi estimada pelas equações de ALLEN (1996), corroborando os resultados obtidos por TURCO & BARBOSA (2008), OLIVEIRA (2014) e TURCO & CARLETO (2017).

Podem-se verificar na Figura 3 os registros de velocidade do vento das estações meteorológicas, sendo comparados os valores de acordo com a técnica de dupla massa. Foi observada diferença entre os valores averiguados na forma acumulativa dos anemômetros, e isso se deve ao fato do *offset* aplicado na programação das estações. A estação Davis e a de referência utilizam respectivamente um *offset*  $0,0 \text{ m s}^{-1}$  e  $0,2 \text{ m s}^{-1}$ . TURCO & CARLETO (2017), em suas pesquisas alcançaram resultados semelhantes quando verificaram os dados emitidos pela Davis em comparação com a estação de referência.

Com relação a umidade relativa, esta apresentou valores semelhantes aos da estação de referência, mostrando que está com desempenho adequado (Figura 4).

Os valores obtidos referentes aos parâmetros temperaturas máxima e mínima apresentaram gráficos com inclinação de reta formando um ângulo de  $45^\circ$ , (figuras 5 e 6) e indicam um alto grau de correlação entre os dados, pois os pontos apresentam-se bem próximos à reta, fazendo com que o  $R^2$  seja superior a 0,7, o que demonstra, assim, boa qualidade dos dados, de acordo com OLIVEIRA (2014).



**Figura 2.** Radiação solar medida pela estação meteorológica automática da DAVIS e Radiação Solar estimada por três equações das técnicas descritas por ALLEN(1996).

Na Figura 7 pode-se observar a correlação dos valores diários da evapotranspiração de referência obtidos por meio do método de Hargreaves, durante os anos de 2009 a 2015, e média dos anos de 2009 a 2015, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56, para região do município de Jaboticabal-SP.

Essas comparações fornecem a base para avaliar os valores diários da  $ET_0$ , obtidos pelo método de Hargreaves em relação aos obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO-56. Se os valores diários da  $ET_0$  obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO-56 forem semelhantes aos obtidos pelo método de Hargreaves, a linha de regressão deveria sobrepor-se à reta  $y = x$ , e os pares de pontos deveriam estar próximos à linha de regressão.

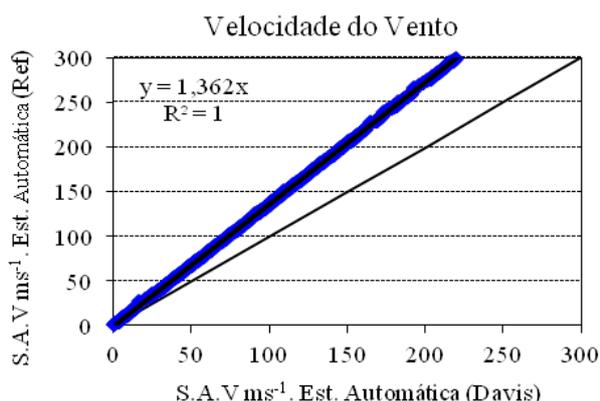
Quando a linha de regressão estiver afastada da reta  $y = x$  e os pares de pontos estiverem próximos à linha de regressão, isso significa que os valores obtidos pelo método de Hargreaves apresentam uma diferença aceitável em relação aos obtidos

pelo método de Penman-Monteith FAO-56, ou seja, a equação pode ser utilizada com precisão para fazer a correção dos valores obtidos pelo método Hargreaves em relação aos obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO-56.

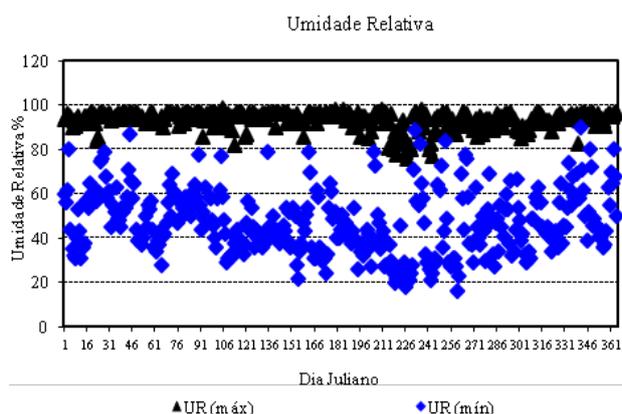
Observa-se na Figura 7 que a linha de regressão obtida pelos valores da  $ET_0$  obtidos pelo método de Hargreaves, durante os anos de 2009 a 2015 e média dos anos de 2009 a 2015, em relação aos obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO-56, superestimaram a  $ET_0$ .

Referentemente também à Figura 7, percebe-se que os pares de pontos não estão dispersos ao redor da linha de regressão, indicando uma adequada correlação, podendo-se observar isso também por meio do coeficiente de determinação  $R^2$ .

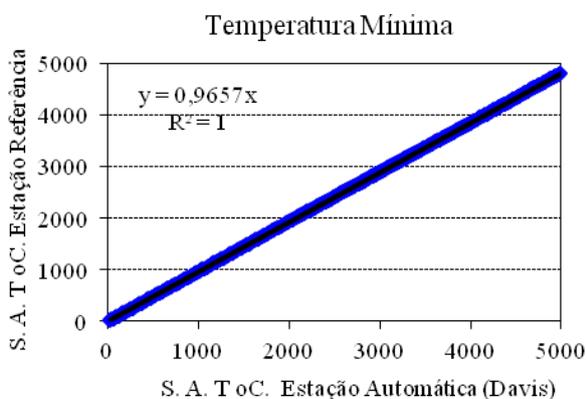
Resultados semelhantes foram obtidos por BACHOUR *et al.* (2013), no Vale de Bekaa – Líbano –, onde o método HARGREAVES (1994) superestimou a  $ET_0$  em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56.



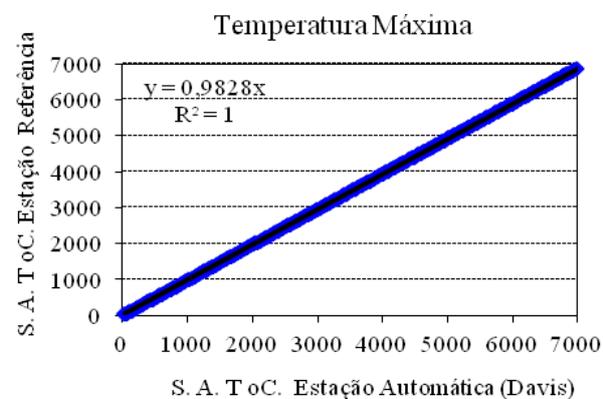
**Figura 3.** Soma acumulativa da Velocidade do Vento das estações meteorológicas de Referência e da Davis



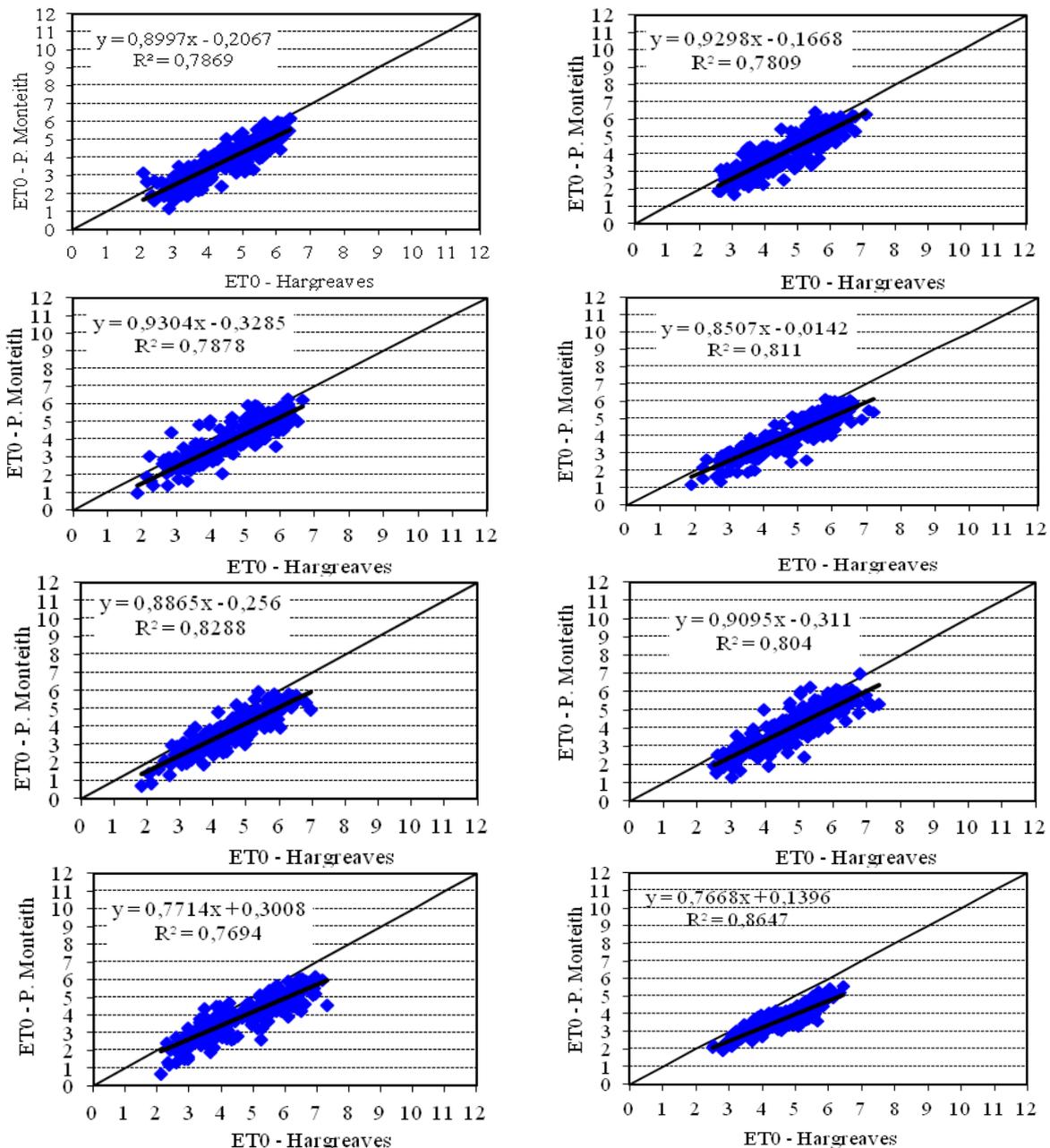
**Figura 4.** Valores diários da Umidade Relativa Máxima e Umidade Relativa Mínima da estação meteorológica da Davis.



**Figura 5.** Soma acumulativa da Temperatura Mínima das estações meteorológicas de referência e da Davis.



**Figura 6.** Soma acumulativa da Temperatura Máxima das estações meteorológicas de referência e da Davis.



**Figura 7.** Correlação entre a os valores diários da  $ET_0$ , obtidos com o método estudado, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56.

A Figura 8 apresenta as retas  $y = ax + b$  ajustadas aos pontos experimentais, obtidos diariamente pelo método estudado, nos anos de 2009 a 2015, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56 e respectivas incertezas.

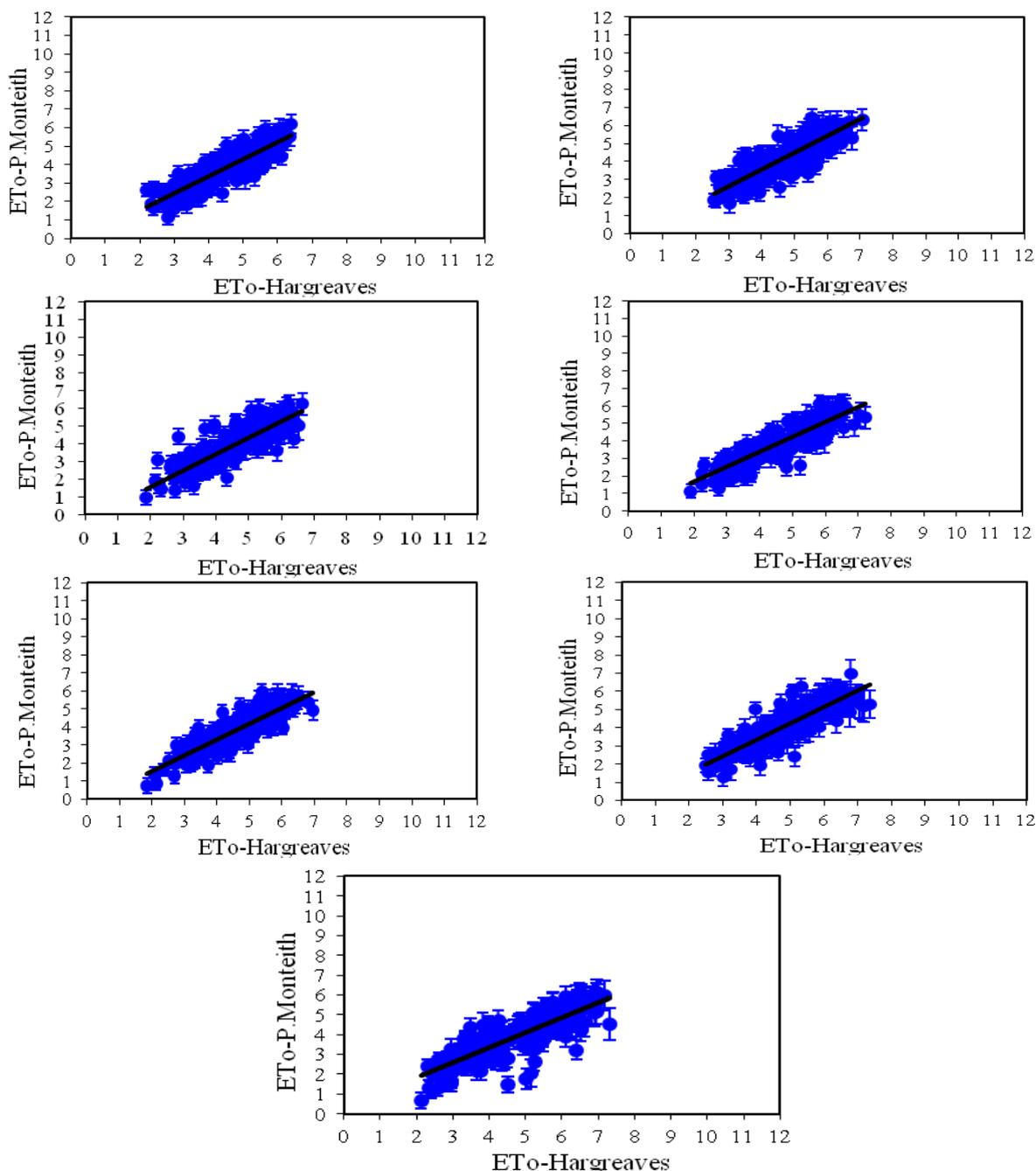
No ajuste das retas para o método de Hargreaves (Figura 8),  $\chi_{red}^2 = 0,9; 1,1; 1,01; 0,87; 1,00; 0,93; 1,04$  ( $\nu = 235$ ), para os anos de 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015, respectivamente. De acordo com Vuolo (1996), os valores de qui-quadrado reduzido ( $\chi_{red}^2$ ) estão dentro da faixa

de valores aceitáveis, portanto considerados bons ajuste.

De acordo com a estatística há 98% de confiança de que o método estudado e o método de Penman-Monteith não são distintos, podendo, assim, ser comparados.

O Resultado obtido foi similar ao de LACERDA & TURCO (2015), que compararam o método de estimativa da  $ET_0$  de Hargreaves com o método de Penman-Monteith FAO-56, para Uberlandia-MG, utilizando a metodologia de análise de desvios-padrão diários da  $ET_0$ .

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM PRECISÃO



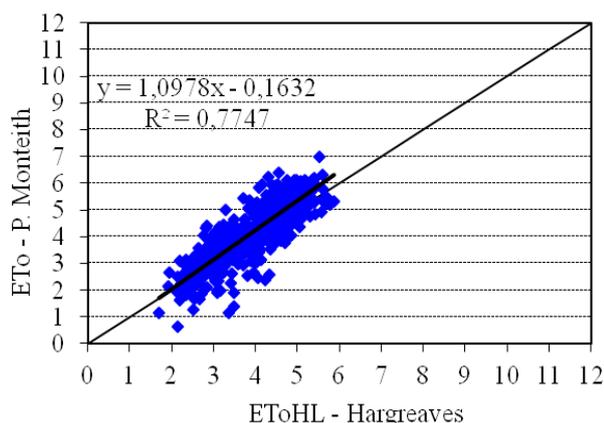
**Figura 8.** Retra  $y = ax + b$  ajustada aos pontos experimentais (correlação entre os valores diários da  $ET_0$ , obtidos pelo método estudado, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56) e respectivas incertezas.

Na Figura 9 pode-se observar a correlação dos valores diários da evapotranspiração de referência obtidos por meio da equação de Hargreaves com calibração local ( $ET_{0HL}$ ), durante os anos de 2010, 2012 e 2014, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56, para região do município de Jaboticabal-SP.

Observa-se na Figura 9 que a linha de regressão sobrepõe a reta  $y = x$  e que os pares

de pontos estão próximos à linha de regressão, indicando uma adequada correlação, podendo-se observar isso também por meio do coeficiente de determinação  $R^2$ .

Por meio da calibração local da equação de Hargreaves ( $ET_{0HL}$ ), foi obtido o valor de  $HE = 0,412$ . O valor obtido corrobora o obtido por TRAJKOVIC (2007).



**Figura 9.** Correlação entre a os valores diários da  $ET_0$ , obtidos com o método estudado com calibração local, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56 (Anos: 2010, 2012 e 2014).

## CONCLUSÕES

- A integridade dos dados da estação meteorológica da Davis foi aceitável.
- A equação de Hargreaves apresentou um bom ajuste para estimativa da  $ET_0$ , considerando-se a análise de regressão e a metodologia que verifica a influência do desvio-padrão diário da  $ET_0$ .
- A equação de Hargreaves com calibração local é uma alternativa para estimar a  $ET_0$  diária em locais em que a disponibilidade de dados meteorológicos é limitada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, North Carolina, v.122, n.2, p.97-106, 1996.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298p. (Estúdio FAO Riego y Drenaje Paper, 56).

BACHOUR, R.; WALKER, W.R.; TORRES-RUA, A.F.; MCKEE, M. Assessment of reference

evapotranspiration by the Hargreaves method in the Bekaa Valley, Lebanon. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, North Carolina, v.139, n.11, p.933-938, 2013.

BERTI, A. et al.; TARDIVO, G.; CHIAUDANI, A.; RECH, F.; BORIN, N. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. **Agricultural Water Management**, Auckland, v.140, p.20-25, 2014.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.J.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.4, p.380-390, 2012.

CERVANTES-OSORNIO, R.; ARTEAGARAMÍRES, R.; VÁZQUEZ-PEÑA, M.A.; OJEDABUSTAMANTE, W.; QUEVEDO-NOLASCO, A. Modelos Hargreaves Priestley-Taylor y redes neuronales artificiales en la estimación de la evapotranspiración de referencia. **Ingeniería Investigación y Tecnología**, Cidade do México, v.XIV, n.2, p.163-176, 2013.

FENG, Y. et al.; JIA, Y.; CUI, N.; ZHAO, L.; LI, C.; GONG, D. Calibration of Hargreaves model for reference evapotranspiration estimation in Sichuan basin of southwest China. **Agricultural Water Management**, Auckland, v.181, p.1-9, 2017.

FERREIRA, L.B.; CUNHA, F.F.; DUARTE, A.B.; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R. Métodos de calibração para a equação de Hargreaves-Samani. **Ciência e Agrotecnologia**, Viçosa, v.42, n.1, p.104-114, 2018.

HARGREAVES, G.H. Defining and using reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, North Carolina, v.120, n.6, p.1132-1139, 1994.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. A.; Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, St. Joseph, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

- HEYDARI, M.M; HEYDARI, M. “Calibration of Hargreaves-Samani equation for estimating reference evapotranspiration in semiarid and arid regions”. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Madison, p.695-713, 2014.
- LACERDA, Z.C.; TURCO, J.E.P., Estimation methods of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) for Uberlândia –MG. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.35, n.1, p.27-38. 2015.
- LIMA JUNIOR, J.C.; ARRAES, F.D.A.; OLIVEIRA, J.B.; NASCIMENTO, F.A.L.; MACÊDO, K.G. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.47, n.3, p.447-454, 2016.
- MEHDIZADEH, S.; SAADATNEJADGHARAHASSANLOU, H.; BEHMANESH, J. “Calibration of Hargreaves-Samani and Priestley – Taylor equations in estimating reference evapotranspiration in the Northwest of Iran”. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Madison, p.1-14, 2016.
- MENDICINO, G.; SENATONE, A. Regionalization of the Hargreaves coefficient for assessment of distributed reference evapotranspiration in southern Italy. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, North Carolina, v.139, n.5, p.349-362, 2013.
- MOURA, A.R.C.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ANTONINO, A.C.D.; AZEVEDO, J.R.G.; SILVA, B.B.; Oliveira, L.M.M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco - Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.28, p.181-191. 2013.
- OLIVEIRA, P.J.D. **Integridade dos dados meteorológicos obtidos por duas estações meteorológicas automatizadas**. 2014. 44f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.
- PILAU, F.G.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; RIGHI, E.Z. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões – RS, **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.2, p.283-290, 2012.
- RAZIEI, T.; PEREIRA, L.S. Estimation of  $ET_0$  Hargreaves – Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural Water Management**, Auckland, v.121, p.1-18, 2013.
- TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, North Carolina, v.133, p.38-42, 2007.
- TURCO, J.E.P.; BARBOSA, J.C. Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa diária da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu-SP, v.13, n.3, p.339-354. 2008.
- TURCO, J.E.P.; CARLETO, N. Integridade de dados meteorológicos para uso em modelo hidrológico. **Revista brasileira de agricultura irrigada** – RBAI, Fortaleza-CE, v.11, n.8, p.2084-2097, 2017.
- TURCO, J.E.P.; PINOTTI, J.R.; PAVANI, L.C.; FERNANDES, E.J. Técnica para determinação de erros em métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.14, p.31-37, 1994.
- VUOLO, J.E. **Fundamentos da teoria de erros**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1996. 249p.