



## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELAS EQUAÇÕES DE HARGREAVES EM CLIMA TROPICAL

José Eduardo Pitelli Turco<sup>1</sup>

### RESUMO

A finalidade deste trabalho foi verificar a eficiência de três equações de Hargreaves, uma que emprega a radiação solar e a temperatura do ar e duas que utilizam a medição da temperatura do ar para estimativa da  $ET_0$ , comparando-as com a equação de Penman-Monteith, nas condições climáticas do município de Jaboticabal, SP, bem como fazer a calibração local desta equação. Foram utilizados dados médios diários dos anos de 2010 a 2019, de radiação solar global, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar, obtidos em uma estação meteorológica automática da Davis Instruments. A análise dos resultados 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 das equações de Hargreaves por meio do ajuste do parâmetro empírico HE (expoente empírico de Hargreaves) das equações. As equações de Hargreaves são uma alternativa eficiente para estimar a  $ET_0$  diária em clima subtropical, em que a disponibilidade de dados climáticos é limitada.

**Palavras-chave:** Penman-Monteith FAO-56, expoente empírico HE, temperatura do ar.

## REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION BY THE HARGREAVES EQUATIONS IN SUBTROPICAL CLIMATE

### ABSTRACT

This work aimed to verify the efficiency of three Hargreaves equations comparing them with the Penman-Monteith, in the climatic conditions of Jaboticabal, SP and calibrate this equation. For this purpose we collected data from Jan/01/2010 to Dec/31/2019 in an automated meteorological station installed at Department of Rural Engineering in FCAV / UNESP, Jaboticabal, SP Campus Experimental Area. The analysis of the results was carried out applying techniques that verify the integrity of the meteorological data as well using methodologies of analysis of the average data and standard deviations of the  $ET_0$ . The local calibration of the Hargreaves equations was performed by

---

<sup>1</sup> Prof. Adjunto III, Dep. de Engenharia e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal, CEP:14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil, (16) 32097278, E-mail: jose.turco@unesp.br

adjusting the empirical parameter HE of the equation. The integrity of the weather station data was acceptable. The Hargreaves equation is an option to estimate  $ET_0$  values in subtropical climate in places where the climatic data availability is scarce.

**Keywords:** Penman-Monteith FAO-56, HE empirical exponent, air temperature.

## INTRODUÇÃO

Para o manejo de irrigação precisamos saber quando e quanto irrigar. Para determinar quanto irrigar normalmente são utilizadas equações que estimam a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), que é uma técnica indireta que conduz a estimativa das necessidades de água pelas plantas, uma vez utilizando o coeficiente de cultura (OLIVEIRA e TURCO, 2019).

A equação que estimativa a  $ET_0$  recomendada pela FAO56 é de Penman-Monteith (PM). O processo de cálculo exige dados 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 nos quais estes dados são medidos de modo eficiente. Portanto, a busca por 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).

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 e CARLETO, 2017).

Antes de aplicar equações que estimam a  $ET_0$  para determinado local, é necessário verificar o desempenho desta equação e, quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa. Esse desempenho tem sido analisado com a comparação das equações em estudo em relação a equação de Penman-Monteith FAO-

56 (BORGES JÚNIOR et al., 2012).

Uma equação alternativa que vem sendo utilizada em vários estudos (RAZIEI e PEREIRA.; 2013; HEYDARI et al., 2014; MEHDIZADEH et al., 2016) é a de Hargreaves e Samani (1985).

Entre as equações encontradas na literatura a que se destaca é a de Hargreaves (1994). Estudos mostram que essa equação ajustada pode estimar com precisão a  $ET_0$  diária (BERTI et al., 2014; FENG et al., 2017).

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.

A equação de Hargreaves (1994) superestima a  $ET_0$  em locais de clima úmido, conforme observado por Cervantes-Osornio et al. (2013).

Mendicino e 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 verificar a eficiência de três equações de Hargreaves comparando-as com a equação de Penman-Monteith, para verificar a possibilidade de estimar a evapotranspiração de referência para as condições climáticas do município de Jaboticabal – SP. Fazer a calibração local das equações, baseadas na temperatura do ar, por meio do ajuste do parâmetro empírico HE (expoente empírico de Hargreaves).



$$EToH = 0,0075 \frac{Q}{59} T \quad (2)$$

Em que: 1/59 - fator de conversão de cal cm<sup>-2</sup> a mm de evaporação equivalente.

### Equação de Hargreaves e Samani (1985)

$$EToHS = 0,0023 Q_0 (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{HE} (T + 17,8) \quad (3)$$

Em que: EToHS - evapotranspiração de referência, grama, mm d<sup>-1</sup>; T<sub>máx</sub> - temperatura máxima, °C; T<sub>mín</sub> - temperatura

mínima, °C; T - temperatura média diária, °C; Q<sub>0</sub> - radiação solar extraterrestre (mm dia<sup>-1</sup>); HE - expoente empírico (0,5).

### Equação de Hargreaves (1994)

$$EToHG = 0,0023 RA (T^{\circ}\text{C} + 17,8) TD^{HE} \quad (4)$$

Em que: EToHG - evapotranspiração de referência, em gramado, mm dia<sup>-1</sup>; RA - radiação solar extraterrestre (mm dia<sup>-1</sup>); T<sup>°</sup>C - (T<sub>max</sub> + T<sub>min</sub>)/2 (temperatura máxima diária do ar mais a temperatura mínima diária do ar,

em °C, dividido por dois); TD - T<sub>max</sub> - T<sub>min</sub> (temperatura máxima diária do ar menos a temperatura mínima diária do ar, em °C); HE - expoente empírico (0,5).

Os valores diários da radiação solar extraterrestre para equação Hargreaves e Samani (1985) e Hargreaves (1994) foram

obtidos em função da latitude local, a partir dos dados interpolados de Napier Shaw, citado por Ramos et al. (1989).

### Equação do Penman-Monteith (PM)

$$EToPM = \frac{0,409 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) v (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 v)} \quad (5)$$

Em que: EToPM - evapotranspiração de referência, em gramado, mm d<sup>-1</sup>; R<sub>n</sub> - radiação líquida, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>; G - fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>; T - temperatura média do ar, °C; V - velocidade média do vento a 2m de altura,

m s<sup>-1</sup>; (e<sub>s</sub> - e) - déficit de pressão de vapor, kPa; Δ - curva de pressão de vapor, kPa °C<sup>-1</sup>; γ - constante psicrométrica, kPa °C<sup>-1</sup>; 900 - fator de conversão.

Para a avaliação dos dados médios diários da ETo foi utilizada análise de regressão e considerando o modelo linear (y = ax + b), na qual a variável dependente foram as estimativas da ETo pelos métodos estudados e o método de Penman-Monteith FAO-56 a variável independente. Para atingir o objetivo desse trabalho foi aplicada a técnica de Turco et al. (1994) nos métodos estudados para determinação dos desvios padrões diários da ETo.

Para a análise dos resultados, considerando os desvios-padrão (erros) da ETo, 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 do 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

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELAS EQUAÇÕES DE HARGREAVES EM CLIMA TROPICAL

utilizado para avaliação da qualidade de ajuste foi o Teste de  $X^2$  reduzido, sendo a quantidade  $X^2$  reduzido definida como:

$$X_{red}^2 = \frac{X^2}{\nu} \quad (6)$$

Em que:  $X^2$  - é a soma dos quadrados das distâncias dos pontos experimentais à curva ajustada, e  $\nu$  - é o número de graus de liberdade do ajuste.

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

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

PROGRAMA MICROSOFT EXCEL / FUNÇÃO ESTATÍSTICA / INV.QUI para  $\nu = 363$  e

1% é obtido  $X^2 = 428,61$ ; portanto  $X_{red}^2 = \frac{X^2}{\nu} = 1,181$  e INV.QUI para  $\nu = 362$  e 1% é obtido

$X^2 = 427,53$ ; portanto  $X_{red}^2 = \frac{X^2}{\nu} = 1,181$

PROGRAMA MICROSOFT EXCEL / FUNÇÃO ESTATÍSTICA / INV.QUI para  $\nu = 363$  e

99% é obtido  $X^2 = 303,27$ ; portanto  $X_{red}^2 = \frac{X^2}{\nu} = 0,835$  e INV.QUI para  $\nu = 362$  e 99% é obtido

$X^2 = 302,30$ ; portanto  $X_{red}^2 = \frac{X^2}{\nu} = 0,835$

Pode-se afirmar com 98% de confiança que:  $0,835 < \chi_{red}^2 < 1,181$ .

Foi realizada a calibração local das equações de Hargreaves (EToHSL e EToHGL) por meio do ajuste do expoente empírico HE das equações.

Para calibração local das equações foi utilizada a metodologia utilizada por Trajkovic (2007), utilizando os dados meteorológicos dos anos ímpares (2011, 2013, 2015, 2017 e 2019). Para validação da equação foi utilizado os dados meteorológicos dos anos pares (2010, 2012, 2014, 2016 e 2018). Esta metodologia reduz o efeito bias que pode ocorrer de um ano para o outro.

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

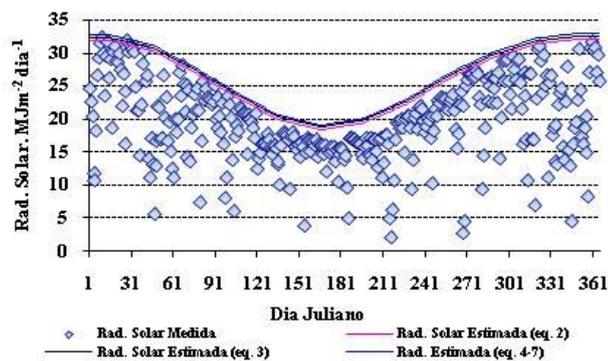
Na metodologia de Vuolo (1996), os valores de  $\nu$  vão até 160 e, entretanto, em nosso trabalho,  $\nu = 363$ , que corresponde aos 365 dias do ano utilizados no estudo e os dois parâmetros ajustados (EToH e EToHGL). Para EToHS  $\nu = 362$ , que corresponde aos 365 dias do ano utilizados no estudo e três parâmetros ajustados.

## 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 ano de 2019, pois os resultados dos outros anos (2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018) apresentaram semelhança.

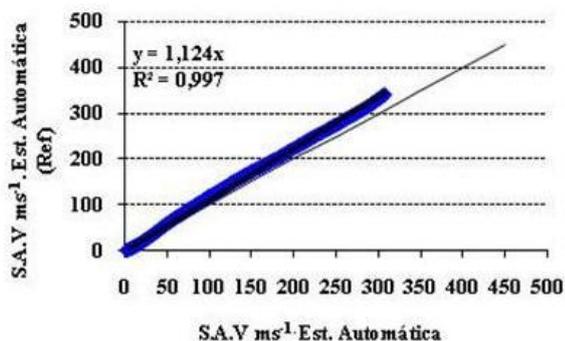
Na Figura 2 de acordo com a observação da radiação solar medida pela Davis pode-se

identificar que a mesma é de qualidade, pois apresenta valores iguais ou inferiores ao apresentado pela radiação solar que foi estimada pelas equações de Allen (1996), corroborando com resultados obtidos por Turco e Barbosa (2008), Oliveira (2014) e Turco e Carleto (2017).



**Figura 2.** Radiação solar medida pela estação meteorológica automática da DAVIS e Radiação Solar estimada por três equações (eq.2, eq.3 e eq.4-7) das técnicas descritas por Allen (1996).

Pode-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 observado diferença dos valores averiguados na forma acumulativa dos anemômetros e isto se deve ao fato do offset aplicado na programação das estações.

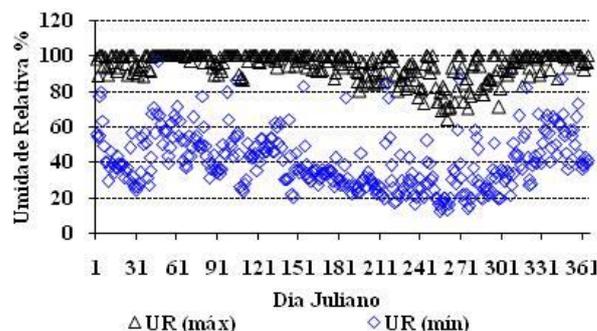


**Figura 3.** Soma acumulativa da Velocidade do Vento das estações meteorológicas de Referência e da Davis

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 e Carleto (2017), em suas pesquisas alcançaram resultados semelhantes

quando verificaram os dados obtidos pela Davis em comparação com a estação de referência.

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

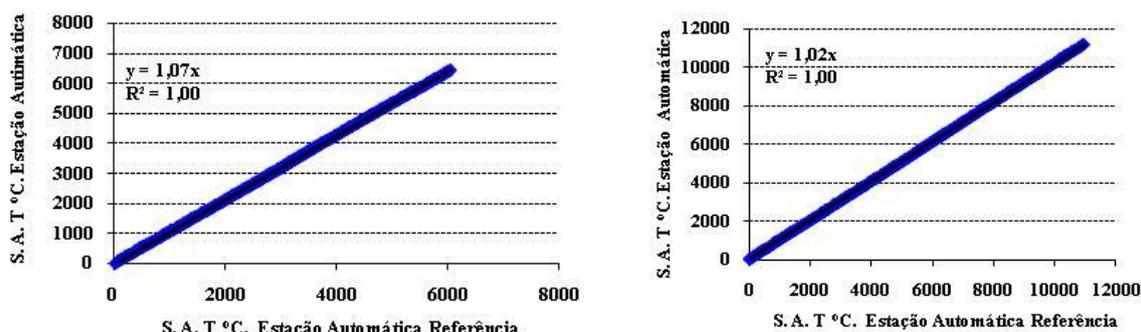


**Figura 4.** Valores diários da Umidade Relativa Máxima e Umidade Relativa Mínima da estação meteorológica da Davis.

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

A Tabela 1 mostra o resultado da análise de regressão dos métodos de Hargreaves (1976), Hargreaves e Samani (1985), Hargreaves (1994), para os anos de 2010 a 2019.

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELAS EQUAÇÕES DE HARGREAVES EM CLIMA TROPICAL



73

**Figura 5.** Soma acumulativa da Temperatura Mínima das estações meteorológicas de referência e da Davis (A). Soma acumulativa da Temperatura Máxima das estações meteorológicas de referência e da Davis (B).

Foi considerando o modelo linear ( $y = ax + b$ ), na qual a variável dependente foram as estimativas da  $ET_0$

pelos métodos estudados e o método de Penman-Monteith FAO-56 a variável independente.

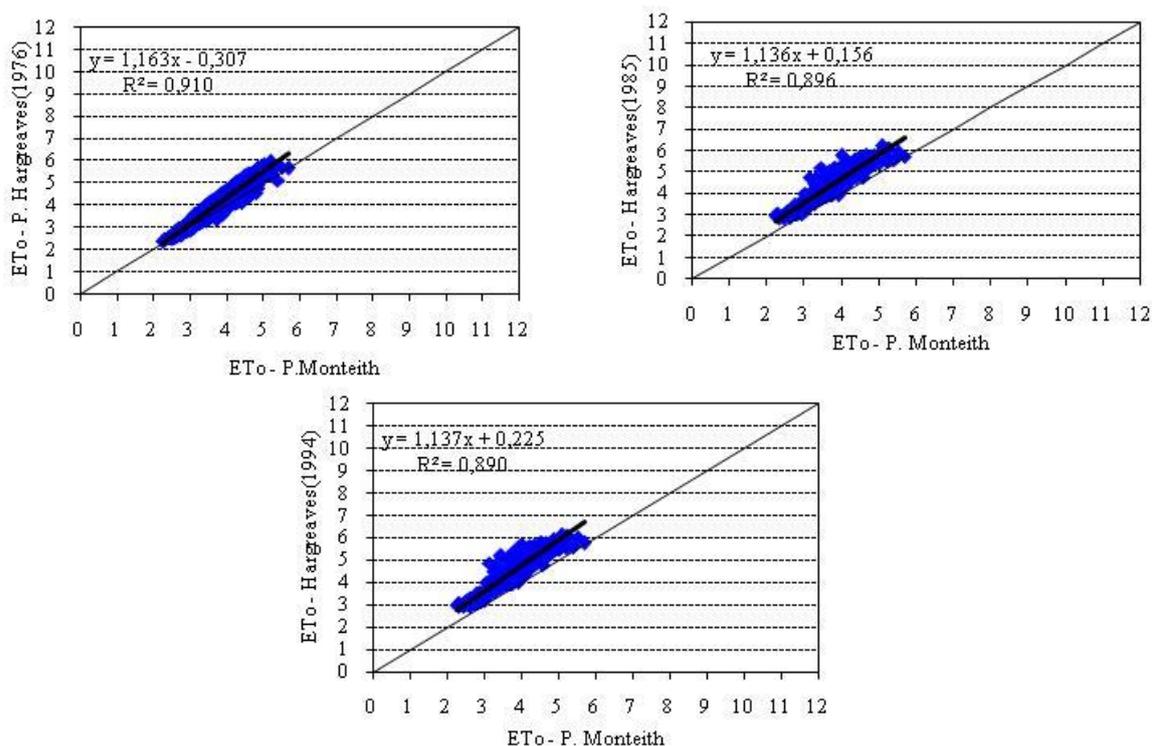
**Tabela 1.** Valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e equação ( $y = a x + b$ ) para os métodos estudados.

ANO	Hargreaves (1976)		Hargreaves e Samani (1985)		Hargreaves (1994)	
	Equação	$R^2$	Equação	$R^2$	Equação	$R^2$
2010	$y = 0,809 x + 0,611$	0,889	$y = 0,921 x - 0,077$	0,794	$y = 0,929 x - 0,166$	0,780
2011	$y = 0,809 x + 0,461$	0,931	$y = 0,916 x - 0,211$	0,789	$y = 0,93 x - 0,328$	0,787
2012	$y = 0,823 x + 0,414$	0,947	$y = 0,846 x + 0,056$	0,817	$y = 0,85 x - 0,014$	0,811
2013	$y = 0,826 x + 0,290$	0,97	$y = 0,884 x - 0,186$	0,833	$y = 0,886 x - 0,256$	0,828
2014	$y = 0,836 x + 0,377$	0,93	$y = 0,888 x - 0,171$	0,804	$y = 0,909 x - 0,311$	0,804
2015	$y = 0,831 x + 0,177$	0,882	$y = 0,778 x + 0,314$	0,775	$y = 0,771 x + 0,3$	0,769
2016	$y = 0,882 x + 0,265$	0,96	$y = 0,933 x - 0,309$	0,725	$y = 0,911 x - 0,289$	0,709
2017	$y = 0,851 x + 0,438$	0,918	$y = 0,99 x - 0,062$	0,865	$y = 0,995 x - 0,133$	0,858
2018	$y = 0,798 x + 0,597$	0,96	$y = 1,033 x - 0,451$	0,802	$y = 1,03 x - 0,496$	0,79
2019	$y = 0,82 x + 0,488$	0,938	$y = 1,03 x - 0,411$	0,853	$y = 1038 x - 0,513$	0,849

A Tabela 1 mostra que, os valores obtidos da análise dos métodos de Hargreaves apresentaram bons resultados para o local de estudo, por apresentarem coeficientes de determinação maiores que 0,71. Resultado semelhante foi obtido por Silva et al.(2014), que a equação de Hargreaves (1976) foi o que se mostrou mais coerente e confiável para a evapotranspiração diária e também por Lacerda e Turco (2015), que verificaram que a análise de regressão indicou ajuste mais

eficiente para estimativa da  $ET_0$  para a equação de Hargreaves (1976), comparando com a equação de Penman-Monteith.

Na Figura 7, pode-se observar a correlação dos valores diários da evapotranspiração de referência obtidos por meio dos métodos de Hargreaves, média dos anos de 2010 a 2019, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56, para região do município de Jaboticabal – SP.



**Figura 7.** Correlação entre a os valores diários da ETo, obtidos com os métodos estudados, em relação ao Penman Monteith FAO-56.

Essas comparações fornecem a base para avaliar os valores diários da ETo, obtidos pelos métodos de Hargreaves em relação aos obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO-56. Se os valores diários da ETo obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO-56 forem semelhantes aos obtidos pelos métodos 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 pelos métodos 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 pelos métodos 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 ETo obtidos pelos métodos de Hargreaves, média dos anos de 2010 a 2019, em relação aos obtidos pelo

método de Penman-Monteith FAO-56 superestimaram a ETo.

Referente também a 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 isto 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 ETo em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56.

Por meio da metodologia de Vuolo (1996), as retas  $y = ax + b$  foram ajustadas aos pontos experimentais, obtidos diariamente pelos métodos estudados, nos anos de 2010 a 2019, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56 e respectivas incertezas.

No ajuste das retas para os métodos de Hargreaves foram obtidos os valores de  $\chi^2_{red}$  apresentados na Tabela 2. De acordo com Vuolo (1996), os valores de qui-quadrado

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELAS EQUAÇÕES DE HARGREAVES EM CLIMA TROPICAL

reduzido ( $\chi^2_{red}$ ) estão dentro da faixa de valores aceitáveis ( $0,835 < \chi^2_{red} < 1,181$ ),

portanto considerados bons ajuste.

**Tabela 2.** Valores do qui-quadrado reduzido  $\chi^2_{red}$  para os métodos estudados.

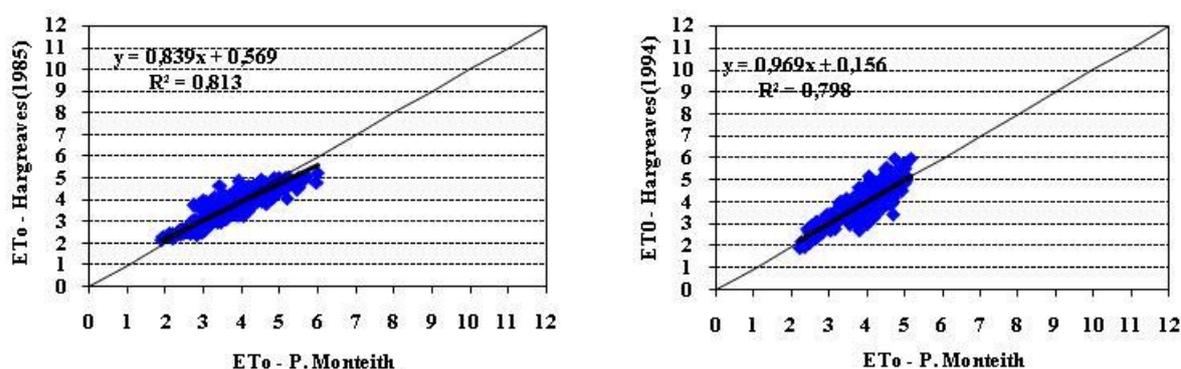
ANO	Hargreaves (1976)	Hargreaves e Samani (1985)	Hargreaves (1994)
	$\chi^2_{red}$	$\chi^2_{red}$	$\chi^2_{red}$
2010	1,128	1,176	1,177
2011	1,009	1,057	1,057
2012	0,915	0,865	0,865
2013	1,04	0,989	0,989
2014	0,984	0,933	0,933
2015	0,993	1,044	1,044
2016	0,984	1,033	1,033
2017	1,036	0,983	0,984
2018	0,895	0,84	0,84
2019	1,028	1,074	1,074

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

O Resultado obtido foi similar ao de Lacerda e Turco (2015), que compararam o método de estimativa da ETo de Hargreaves (1976) com o método de Penman-Monteith FAO-56, para Uberlândia – MG, utilizando a metodologia de análise de desvios padrões

Diários da ETo.

Na Figura 8 pode-se observar a correlação dos valores diários da evapotranspiração de referência obtidos por meio das equações de Hargreaves com calibração local (EToHSL e EToHGL), durante os anos de 2010, 2012, 2014, 2016 e 2018 em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56, para região do município de Jaboticabal – SP.



**Figura 8.** Correlação entre a os valores diários da ETo, obtidos com os métodos estudados com calibração local, em relação ao Penman-Monteith FAO-56 (Anos: 2010, 2012, 2016 e 2018).

Observa-se na Figura 8 que a linha de regressão sobrepõe a reta  $y = x$ , e os pares de pontos estão próximos à linha de regressão, indicando uma adequada correlação, podendo-se observar isto também por meio do

coeficiente de determinação  $R^2$ . Por meio da calibração local das equações de Hargreaves (EToHSL e EToHGL) foram obtidos os valores de HE (0,43 e 0,424). Os valores obtidos corroboram com o obtido por Trajkovic (2007).

## CONCLUSÕES

A integridade dos dados da estação meteorológica da Davis foi aceitável.

As equações de Hargreaves apresentaram um bom ajuste para estimativa da ETo, considerando a análise de regressão e a metodologia que verifica a influência do desvio padrão diário da ET<sub>0</sub>.

As equações de Hargreaves com calibração local é uma alternativa para estimar a ETo diária em locais em que a disponibilidade de dados meteorológicos é limitada.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 122, p. 97-106, 1996. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1996\)122:2\(97\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1996)122:2(97))
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio Riego e Drenaje, 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.; TARDIVO, G.; CHIAUDANI, A.; RECH, F.; BORIN, N. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. **Agricultural Water Management**. v.140, p.20-25, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.015>
- 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.
- CAMPAROTTO, L. B.; BRAIN, G. S.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M.B.P.de. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n.6, p. 665-671, 2013.
- CERVANTES-OSORNIO, R.; ARTEAGA-RAMÍRES, R.; VÁZQUEZ-PEÑA, M.A.; OJEDA-BUSTAMANTE, W.; QUEVEDO-NOLASCO, A. Modelos Hargreaves Priestley-Taylor y redes neuronales artificiales en la estimación de la evapotranspiración de referencia. **Ingeniería Investigación y Tecnología**. v. XIV, n. 2, p. 163-176, 2013.
- FENG, Y.; 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**. v.181, p.1-9, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.010>
- 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. **Climate and irrigation requirements for Brazil**. Logan, Utah State University, 1976. 44 p.
- HARGREAVES, G.H. Defining and using reference evapotranspiration. **Journal of**

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELAS EQUAÇÕES DE HARGREAVES EM CLIMA TROPICAL

**Irrigation and Drainage Engineering**, v.120, n.6, p.1132-1139, 1994.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 01, 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**, v. 60, p. 695-713, 2014. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.80874>

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) for Uberlândia – MG. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p. 27-38, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p27-38/2015>

LIMA JUNIOR, J. C.; ARRAES, F. D. D.; 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 Agrônômica**, v.47, n.3, p.447-454, 2016. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160054>

MEHDIZADEH, S.; SAADAT-NEJADGHARAHASSANLOU, 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**, v.63, p. 1-14, 2016. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016>

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. OLIVEIRA, P. J. D. de. Integridade dos dados

meteorológicos obtidos por duas estações meteorológicas automatizadas. 2014. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014. <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n2p352-366>

OLIVEIRA, P. J. D. de; TURCO, J.E.P. Dois métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e índices de estresse hídrico em cebola irrigada. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**. Botucatu-SP, v. 24, n.2, p. 352-366. 2019.

RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A. G.; VILA NOVA, N. A.; REICHART, K.; MAGALHÃES, P. C.; CLEARY, R. W. **Engenharia hidrológica**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1989. 404p.

RAZIEI, T.; PEREIRA, L.S. Estimation of ET<sub>o</sub> Hargreaves – Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural Water Management**. v.121, p.1-18, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.019>

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SANTOS, E. S. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Fernando de Noronha. **Irriga**, v.19, n.3, p. 390-404, 2014.

TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v.133, n.1, 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. **Irriga: 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.