



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Calibração do modelo de Hargreaves para a estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, PB<sup>1</sup>**



*Wellington Jairo da Silva Diniz<sup>2</sup>; Thieres George Freire da Silva<sup>3</sup>; José Edson Florentino de Moraes<sup>2</sup>; Marcela Lúcia Barbosa<sup>4</sup>; Magna Soelma Beserra de Moura<sup>5</sup>, Lucivania Rodrigues Lima<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Trabalho de pesquisa desenvolvido pelo Grupo de Agrometeorologia no Semiárido

<sup>2</sup> Mestrandos do PPGPV, UFRPE/UAST, e-mail: wellingtonjairo@hotmail.com, joseedson50@hotmail.com, lucivania\_rodrigues@hotmail.com

<sup>3</sup> Professor Adjunto III, UFRPE/UAST, e-mail: thieres\_freire@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Pós-graduanda do PPGMA, UFV/DEA, e-mail: marcelalucia.ufrpe@hotmail.com

<sup>5</sup> Pesquisadora de Agrometeorologia, Embrapa Semiárido, e-mail: magna.moura@embrapa.br

**RESUMO:** Objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho do modelo de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) nas condições climáticas do município de Campina Grande, PB. Foram utilizados registros meteorológicos diários coletados em uma estação convencional, referentes aos anos de 1963 a 2015. Foram estimados os valores de ET<sub>o</sub> (mm dia<sup>-1</sup>) pelo modelo Penman-Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO, e os seus dados foram usados na calibração do modelo de Hargreaves:  $ET_oH = CH_1 \cdot (T_{med} + CH_2) \cdot (T_{max} - T_{min})^{EH} \cdot R_a$  em que: CH<sub>1</sub>, CH<sub>2</sub> e EH - coeficientes empíricos; R<sub>a</sub> - radiação solar no topo da atmosfera (mm dia<sup>-1</sup>). A calibração do modelo foi realizada com os dados dos anos pares (n=6214), usando o programa computacional SigmaPlot v.10, e os anos ímpares (n=6183) para a sua validação, por meio do cálculo dos critérios estatísticos: coeficiente de correlação (r); índice de concordância (d); coeficiente de desempenho (c); erro médio de estimativa (MBE); raiz quadrada do quadrado do erro médio de estimativa (RMSE). O valor de “c” empregando-se o método original de Hargreaves foi classificado com desempenho bom, mas, constatou-se superestimativa de 0,5944 mm dia<sup>-1</sup> (MBE) e RMSE de 0,7222 mm dia<sup>-1</sup>. Todavia, a calibração dos coeficientes CH<sub>1</sub>, CH<sub>2</sub> e EH elevou o valor de c, que passou a ser classificado como de ótimo desempenho, com MBE variando de -0,0907 a -0,1176 mm dia<sup>-1</sup> e RMSE de 0,3845 a 0,4075 mm dia<sup>-1</sup>. Concluiu-se que, a calibração do modelo de Hargreaves é imprescindível na estimativa precisa dos valores da ET<sub>o</sub> no município de Campina Grande, PB.

**PALAVRAS-CHAVE:** agrometeorologia, método empírico, temperatura

### **Hargreaves calibration model for the estimation of reference evapotranspiration in Campina Grande PB**

**ABSTRACT:** The objective was to evaluate the performance of the model of Hargreaves for the reference evapotranspiration estimation (ET<sub>o</sub>) in the climatic conditions of the municipality of Campina Grande, PB. Daily meteorological records collected were used in a conventional station, for the years 1963 to 2015. ET<sub>o</sub> values (mm day<sup>-1</sup>) were estimated by model Monteith Penman parameterized bulletin 56FAO, and their data were used in the calibration of the model of Hargreaves:  $ET_oH = CH_1 \cdot (T_{med} + CH_2) \cdot (T_{max} - T_{min})^{EH} \cdot R_a$ : where, CH<sub>1</sub>, CH<sub>2</sub> and EH-empirical coefficients; R<sub>a</sub> - solar radiation at the top of the atmosphere (mm dia<sup>-1</sup>). The calibration of the model was carried out with the data of even-numbered years (n = 6214), using the computer program SigmaPlot v. 10, and the odd years (n = 6183) to your validation, through the calculation of statistical criteria: correlation coefficient (r); concordance index (d); performance coefficient (c); average error estimate (MBE); square root of the square of the average estimation error (RMSE). The value of “c” using the original method of Hargreaves has been awarded performance “good”, but contacted if overestimate of 0.5944 mm day<sup>-1</sup> (MBE) and RMSE of

*O desafio do uso sustentável dos biomás brasileiros*

0.7222 mm day<sup>-1</sup>. However, the calibration coefficients CH1, CH2 and EH upped the value of “c”, which became ranked as excellent performance, with MBE ranging from -0.0907 to -0.1176 mm day<sup>-1</sup> and RMSE of 0.3845 the 0.4075 mm day<sup>-1</sup>. It was found that the calibration of the model of Hargreaves is essential in accurate estimate of the values of the ETo in the municipally of Campina Grande, PB.

**KEY WORDS:** agrometeorology, empirical method, temperature

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade dos recursos hídricos é essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Todavia, tanto para o consumo humano quanto para a produção agrícola, os mesmos estão cada vez mais escassos, ficando evidente a necessidade de um planejamento mais eficaz do aproveitamento da água.

Assim, aplicação de metodologias que possam permitira estimativa exata do volume de água, a se obter uma elevada produção nos cultivos agrícolas, é essencial (SYPERRECK et al., 2008). Dentre elas, o conhecimento da evapotranspiração tem mais relevância, uma vez que consiste em um dos componentes do ciclo hidrológico, e é um dos parâmetros mais importantes na quantificação da disponibilidade hídrica de uma região.

A evapotranspiração do sistema solo-planta é uma informação básico planejamento, dimensionamento de projetos de irrigação e manejo adequado de uma área agrícola irrigada (FERNANDES et al., 2014).

Na maioria das vezes é calculada a partir da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) por meio de métodos empíricos (FERNANDES et al., 2012).

Diversos métodos de estimativa da ETo foram desenvolvidos, variando do mais simples ao mais complexo devido das diferentes localidades, disponibilidade de dados climáticos e pela falta de consenso de uma dada equação. Com isso, faz-se necessária a calibração local de modelos matemáticos (GONÇALVEZ et al., 2009; FERNANDES, 2010; FERNANDES et al., 2012).

O método utilizado universalmente para quantificar a evapotranspiração de referência diária é o de Penman Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998). No entanto, o mesmo depende de medidas acuradas das variáveis temperaturas do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global e de velocidade do vento, onde muitas vezes não estão disponíveis, devido à indisponibilidade de aparelhos para sua quantificação.

Em decorrência disso, a busca por métodos que requer um menor numero de variáveis meteorológicas para a estimativa da ETo tem sido uma solução viável (FERNANDES et al., 2012).

Com base no exposto, objetivou-se calibrar a equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referenciano município de Campina Grande, PB.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi elaborado com base nos dados meteorológicos coletados no município de Campina Grande-PB. Os dados diários compreenderam o período de 1963 a 2015, de uma estação meteorológica convencional pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e localizada em 7,22°S, 35,88° W e 547,56 m.

O conjunto de variáveis meteorológicas utilizadas foi: umidade relativa média do ar ( $UR_{méd}$ , %), temperaturas máxima mínima e média do ar ( $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$  e  $T_{méd}$  °C) e velocidade do vento convertida para dois metros de altura ( $u_2$ ). A estimativa da radiação solar no topo da atmosfera se deu com base na equação de Hargreaves. A partir das variáveis meteorológicas obtidas foi estimada a evapotranspiração

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

de referência (ET<sub>o</sub>H) por meio expressão apresentada por ALLEN et al. (1998). E os seus dados foram usados na calibração do modelo de Hargreaves (1974):

$$ET_{oH} = CH_1 \cdot (T_{méd} + CH_2) \cdot (T_{máx} - T_{mín})^{EH} \cdot R_a \quad (1)$$

em que,

ET<sub>o</sub>H - evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves (mm dia<sup>-1</sup>)

CH<sub>1</sub>, CH<sub>2</sub> e EH - coeficientes empíricos (0,0023; 17,8 e 0,5);

T<sub>méd</sub> - temperatura média do ar (°C);

T<sub>máx</sub> - temperatura máxima do ar (°C);

T<sub>mín</sub> - temperatura mínima do ar (°C);

R<sub>a</sub> - radiação solar no topo da atmosfera (mm dia<sup>-1</sup>).

Os ajustes dos coeficientes CH<sub>1</sub>, CH<sub>2</sub> e EH foram realizados com base nos dados diários referentes aos anos pares (n = 6214), empregando-se o programa computacional Sigmaplot v.10. A validação do desempenho dos valores originais e ajustados de ET<sub>o</sub>H, em relação aos valores de ET<sub>o</sub>PM, foram obtidas considerando-se os dados diários relativos aos anos ímpares (n = 6183). Sendo utilizados os seguintes critérios estatísticos: coeficiente de correlação (r); índice de concordância (d); coeficiente de desempenho (c); erro médio de estimativa (MBE); raiz quadrada do quadrado do erro médio de estimativa (RMSE).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores estimados a partir do método de Hargreaves (ET<sub>o</sub>H), mesmo quando calibrado, superestimaram àqueles obtidos pelo método de Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>PM) (Tabela 1). GAVILÁN et al. (2006), analisando as relações entre ET<sub>o</sub>H e ET<sub>o</sub>PM em diferentes localidades do Sul da Espanha, também constataram um tendência da ET<sub>o</sub>H superestimar ET<sub>o</sub>PM, principalmente, para àquelas regiões mais distantes do Litoral.

**Tabela 1:** Valores dos coeficientes empíricos CH1, CH2 e EH da equação de Hargreaves calibrados para a cidade de Campina Grande-PB, com os coeficientes de correlação (r), índice de concordância (d), coeficiente de confiança (c), erros médios de estimativa (MBE) e quadrado do erro médio de estimativa (RMSE) e desempenho do coeficiente de confiança.

Modelo	Coeficientes ajustados			r	d	c	MBE	RMSE	Desempenho
HG	-----			0,873	0,835	0,728	0,5944	0,7222	Bom
	<b>CH1</b>	<b>CH2</b>	-----	0,994	0,997	0,990	-0,0319	0,3845	Ótimo
	0,0026	7,5229							
	<b>CH2</b>	-----		0,994	0,997	0,991	-0,0394	0,3861	Ótimo
	11,4556								
	<b>CH1</b>	-----		0,994	0,996	0,991	-0,1176	0,4040	Ótimo
	0,0019								
	-----		<b>EH</b>	0,994	0,996	0,990	-0,0360	0,3934	Ótimo
			0,4238						
	<b>CH1</b>	<b>CH2</b>	<b>EH</b>	0,993	0,996	0,989	-0,0907	0,4075	Ótimo
0,0046	0,8149	0,3463							
<b>CH1</b>	-----		0,994	0,996	0,990	-0,0365	0,3928	Ótimo	
0,0024									0,3971
-----	<b>CH2</b>	<b>EH</b>	0,993	0,996	0,989	-0,0764	0,4027	Ótimo	
	17,4895	0,4272							

Os valores de ETo, estimados pelo método de Hargreaves sem ajustes de seus coeficientes, apresentou índice de confiança (c) igual a 0,728, classificado como de bom desempenho, valor este próximo ao observado por Conceição (2013), que foi de 0,69 para Jales, SP. LogoSilva et al. (2011) em Uberlândia, MG, encontraram valor de 0,70. O modelo original de Hargreaves quando comparado com o modelo de EToPM tende a superestimar os valores da ETo com valores de MBE (0,5944 mm dia<sup>-1</sup>), e RMSE de 0,7222 mm dia<sup>-1</sup>.

A partir da calibração dos coeficientes da (eq. 1) foram encontrados valores de CH1, CH2 e EH variando de 0,0019 a 0,0026; de 0,8149 a 17,4895 e 0,3463 a 0,4272, respectivamente. Verifica-se que, quando calibrado os parâmetros da equação de Hargreaves pode ser constatado uma melhoria nos valores de r, d e c; no entanto, fica evidente que os valores de MBE tende a subestimar os valores de ETo (-0,0319 mm dia<sup>-1</sup> a -0,1176 mm dia<sup>-1</sup>) a longo prazo de tempo e superestimar a curto prazo (RMSE de 0,3845 a 0,4075 mm dia<sup>-1</sup>). Entretanto, o desempenho dos modelos quando empregados os parâmetros calibrados passaram a ser classificados como de ótimo desempenho.

Lee (2010), para uma região da Correea do Sul, encontrou valores de CH1, CH2 e EH de 0,0020, 50,76, 0,194, respectivamente. Borges Júnio et al. (2012) constataram, para o município de Garanhuns, PE, valores variando entre 0,0013 a 0,0014, para CH1; 17,76 a 17,79, para CH2, e 0,74 a 0,76, para EH, sendo que os valores de CH1 e EH, foram os coeficientes que mais se aproximaram aos obtidos nesse estudo. Empregando-se os coeficientes ajustados, o modelo de Hargreaves apresentou valores de c entre 0,989 a 0,991, passando a ser classificado como de ótimo desempenho. Por meio da utilização da equação de EToHG com seus coeficientes ajustados há a possibilidade de se realizar manejo da irrigação utilizando-se apenas variáveis meteorológicas de temperaturas máxima e mínima, as quais podem ser obtidas através de sensores economicamente acessíveis.



**XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**  
23 a 28 de agosto de 2015  
Lavras – MG – Brasil  
Agrometeorologia no século 21:  
*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



## CONCLUSÕES

Nas condições climáticas de Campina Grande, PB, o modelo original de Hargreaves (ET<sub>oH</sub>) tende a superestimar os valores da evapotranspiração de referência estimados pelo modelo padrão de Penman-Monteith (ET<sub>oPM</sub>). No entanto, com o ajuste dos coeficientes empíricos de ET<sub>oH</sub>, obteve-se uma melhoria no desempenho da ET<sub>oH</sub>, em relação ao método padrão ET<sub>oPM</sub>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage, Roma, n.56, 300p, 1998.

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.

CONCEIÇÃO, M.A.F. Calibração do modelo de Hargreaves para a estimativa da evapotranspiração de referência em Jales, SP. In: XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia, 2013, Belém-PA, *Anais...* Belém-PA, 2013.

FERNANDES, J.N.V.; COSTA, H.A.; SILVA, J.A.; BATISTA, M.C.; BORGES, P.F.; GURJÃO FILHO, H. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Campina Grande-PB, In: II INOVAGRI International Meeting, 2014, Fortaleza-CE, *Anais...* Fortaleza-CE, 2014.

FERNANDES, D. S.; HEINEMAM, A. B.; PAZ, R. L. F.; AMORIM, A. O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, CE, v. 43, n. 2, p. 246-255, abr./jun. 2012.

FERNANDES, J. L., OLIVEIRA, J. B., 2010, “Comparação entre métodos de estimativa da ET<sub>o</sub> mensal para cidade de Guaramiranga-Ce”, In: III WINOTEC, 2010, Fortaleza-CE, *Anais...* Fortaleza-CE, 2010.

GAVILÁN, P.; LORITE, I.J.; TORNERO, S.; BERENGENA, J. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.81, p.257–281, 2006.

GONÇAVES, F. M.; FEITOSA, H. de O.; CARVALHO, C. M. de; GOMES FILHO, R. R.; VALMIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.2, p.71-77, 2009.

HARGREAVES, G. H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. *Transactions of the ASAE*, v.17, n.174, p.701-704, 1974.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



LEE, K.H. Relative comparison of the local recalibration of the temperature-based evapotranspiration equation for the Korea Peninsula. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.136, n.9, p.585-594, 2010.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; 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, supl., p. 603-609, 2008.