

ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELO MÉTODO DE HARGREAVES PARA CONDIÇÕES ÚMIDAS

Diego Simões Fernandes⁽¹⁾, Ivan Saraiva⁽²⁾, Eda Michiles⁽³⁾

⁽¹⁾ Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás, Rua 82 s/nº Palácio Pedro Ludovico Teixeira 2º Andar Setor Sul, Goiânia-GO, E-mail: diegosifer@cnpaf.embrapa.br

⁽²⁾ Msc. em Meteorologia do Sistema de Proteção da Amazônia, SIPAM, Av. Do Turismo 1350, Manaus – AM, Fone: (92) 33036267, E-mail: ivan.saraiva@sipam.gov.br

⁽³⁾ Graduada em Geografia, bolsista do projeto REMAM, Rede de Monitoramento e Pesquisa de Fenômenos Meteorológicos Extremos na Amazônia, SIPAM, Manaus – AM, E-mail: edamichiles@yahoo.com.br

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 - SESC, Guarapari, ES

Abstract

The equation of Penman-Monteith FAO-56 (EToPM) has been recommended by FAO, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (UN) as the standard for estimating reference evapotranspiration (ETo). This equation requires many variables that are not available at most weather stations in Brazil. On the other hand, the Hargreaves equation is considerably simpler and requires only data of maximum and minimum temperatures to estimate ETo. This study aims to calibrate and validate the parameters of the HC and HE Hargreaves equation for the city of Manaus. The ERQM found was 23.65% and 21.68% for calibration and validation. The EMA for both calibration and validation was less than 1 mm.day⁻¹. We conclude that the adjusted Hargreaves equation locally is an option to estimate daily values of ETo for the city of Manaus where there is availability of all weather variables necessary for Penman-Monteith method.

Key-words: empiric methods, Hargreaves, Penman-Monteith

1. Introdução

Estimativas de evapotranspiração de referência (ETo) acuradas são necessárias para uma engenharia de irrigação responsável, ou seja, sem desperdício hídrico. Estimativas de ETo também são necessárias para a produção das culturas, gerenciamento dos recursos hídricos, agendamento da irrigação e avaliação ambiental. A determinação da ETo é um problema compartilhado por várias ciências que estudam o sistema solo-planta-atmosfera. Vários métodos empíricos de estimativa de ETo foram desenvolvidos, descrito em detalhes por Fernandes et al (2010), porém nem todos tem aceitação unânime e alguns são desprezados pela comunidade científica. Segundo Pruitt & Doorembos (1977) esses métodos empíricos podem ser avaliados para as condições locais antes de serem utilizados. Assim, este estudo objetivou avaliar, calibrar e validar o método de estimativa de Hargreaves para a cidade de Manaus.

2. Material e Métodos

Este trabalho tem como área de estudo o município de Manaus, capital do Estado do Amazonas. Os dados são provenientes da estação meteorológica automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, Lat. 3,13S, Lon. 59,95W, Alt. 67 metros) e compreende o período de 2001 a 2006. As variáveis meteorológicas utilizadas foram: temperatura do ar máxima e mínima (°C), umidade relativa máxima e mínima (%), velocidade do vento (m.s⁻¹), radiação solar global (KJ.m⁻².dia⁻¹). A Tabela 1 descreve os valores médios mensais

observados para as variáveis meteorológicas, para o período utilizado nesse trabalho. A qualidade e preenchimento de falhas dos dados meteorológicos foram verificadas utilizando a metodologia descrita por Heinemann et al. (2007).

Tabela 1: Médias mensais das variáveis meteorológicas para o período de 2001-2006 para a cidade de Manaus.

Meses	Variáveis meteorológicas						
	Tmax	Tmin	Prec	Rad	URmax	URmin	V.Vento
Janeiro	30.7	25.0	204.7	411.0	90.8	64.5	1.5
Fevereiro	30.2	24.9	116.5	373.4	90.8	66.0	1.7
Março	30.3	23.9	256.2	416.4	95.2	66.2	1.3
Abril	30.4	23.9	204.2	436.1	93.3	70.1	1.2
Mai	30.3	24.3	281.3	428.2	92.6	70.0	1.1
Junho	30.6	23.7	98.2	456.0	92.9	64.5	1.1
Julho	31.8	23.9	49.5	537.3	91.0	60.0	1.0
Agosto	33.1	24.1	64.7	581.3	89.9	53.4	1.1
Setembro	33.8	24.2	68.5	606.9	90.4	51.3	1.3
Outubro	33.4	24.6	66.8	582.0	89.6	54.4	1.3
Novembro	32.7	24.7	138.9	480.3	90.8	59.4	1.2
Dezembro	31.2	25.1	185.6	389.5	91.1	64.8	1.4

A estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith FAO-56, equação 1, considera a resistência estomática de 70 sm^{-1} e a altura da cultura hipotética fixada em 0,12m (Allen et al., 1998).

$$ET_{OPM} = \frac{0,408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T_{med} + 273,16} * U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (1)$$

em que: ET_{OPM} é a evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith (mm.dia^{-1}), R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), G é a densidade do fluxo de calor no solo, que em nosso caso consideramos sempre sendo como $G = 0$, Δ é a declinação da curva de saturação do vapor de água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), U_2 é a velocidade do vento (média diária) a 2 metros acima da superfície do solo (m.s^{-1}), T_{med} é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$), e_s é a pressão de saturação do vapor (kPa), e_a é a pressão atual do vapor (kPa) e γ é o fator psicrométrico ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$).

O cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves (Harg) foi obtido pela equação 2.

$$ET_{OHarg} = 0,408HC R_a (T_{max} - T_{min})^{HE} \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 17,8 \right) \quad (2)$$

em que: ET_{OHarg} é a Evapotranspiração de referência obtida pelo método de Hargreaves (mm.dia^{-1}), T_{med} é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$), T_{max} é a temperatura máxima do ar ($^\circ\text{C}$), T_{min} é a temperatura mínima do ar ($^\circ\text{C}$) e R_a é a radiação solar no topo da atmosfera (mm.dia^{-1}).

A calibração dos parâmetros empíricos de Hargreaves foi feita utilizando o método de interação para resolver a equação não linear (equação 2). A função utilizada foi a “nls”, do pacote MASS, do programa estatístico R. Nesse trabalho a calibração e validação do método de Hargreaves foram avaliadas pelo Erro Relativo do Quadrado Médio (ERQM), Erro do Quadrado Médio (EQM), Erro Médio Absoluto (EMA), Eficiência de Nash-Sutcliffe (EF), Densidade Relativa e Coeficiente de Determinação (R^2).

3. Resultados e discussões

Os ajustes dos parâmetros empíricos HC e HE da equação de Hargreaves obtidos na calibração, com seu respectivo intervalo de confiança estão apresentados na Tabela 2. O valor do parâmetro empírico HC foi de 0,0017. Esse valor está próximo aos encontrados por Gavilán et al. (2006), que calibraram a equação de $ET_{O_{Harg}}$ para diferentes locais na Espanha e obtiveram valores entre 0,00209 a 0,0029. Já o valor do expoente empírico HE foi de 0,58. Para ambos os parâmetros empíricos, HC e HE, o nível de significância foi menor que 0,001.

Tabela 2: Valores dos parâmetros empíricos HC e HE da equação de Hargreaves para o processo de calibração.

Parâmetro	Parâmetro Original	Parâmetro Ajustado	Intervalo de confiança (%)	
			2,5	97,5
HC	0,0023	0,0017	0,0015	0,0019
HE	0,5	0,58	0,58	0,61

A Tabela 3 descreve os índices de desempenho para a calibração e validação do método de estimativa de Hargreaves para a cidade de Manaus. A EF, ERQM, EQM, EMA e R^2 , para a calibração (anos ímpares), foram de 0,48, 23,65%, 0,84 mm.dia⁻¹, 0,66 mm.dia⁻¹ e 0,49, respectivamente. Já para a validação, os índices estatísticos aumentaram, mas não tiveram melhora significativa. O EMA, também foi menor que 1 mm.dia⁻¹. Tanto para a calibração, como para a validação, houve uma tendência em superestimar os valores de ET_o em relação aos valores obtidos pelo método padrão ET_{OPM} . Essa tendência também foi observada por Mudrik et al. (2002) e Gavilán et al. (2006).

Tabela 3: Desempenho da estimativa de evapotranspiração de referência para a calibração e validação para a cidade de Manaus.

Processo	Índices Estatísticos				
	EF	ERQM	EQM	EMA	R^2
Calibração	0,48	23,65	0,84	0,66	0,49
Validação	0,52	21,68	0,78	0,62	0,53

Os valores das médias mensais das estimativas de ET_o , para a cidade de Manaus, estão apresentados na Figura 1. Como se pode observar, o comportamento das curvas foi semelhante e o método de Hargreaves, mesmo sem estar ajustado, superestima os valores de ET_o para todo o período de dados, isto quando comparado com o método de ET_{OPM} . Isso já havia sido observado por Mudrik et al. (2002) e França Neto et al. (2003) para outras localidades do Brasil. Após o ajuste, ou seja, calibração dos parâmetros empíricos, foi observado uma maior proximidade da curva ajustada de Hargreaves $ET_{o_{aharg}}$ com a curva de ET_{OPM} . Estudos como o de Gavilán et al. (2006) e Fooladmand et al. (2008) mostram que a calibração local para o método de Hargreaves tem mostrado bons desempenhos para regiões úmidas. No entanto, como ilustra a Figura 2, a regressão linear entre o método de Hargreaves sem (Figura 2a) e com ajuste (Figura 2b) e método padrão de Penman-Monteith, a dispersão

dos valores continua após o ajuste. Isso ilustra uma baixa eficiência do ajuste, conforme pode também ser observado na Tabela 2.

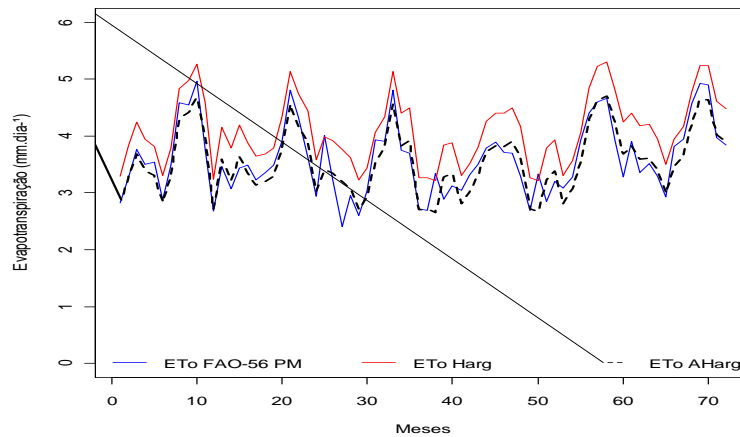


Figura 1: Comportamento das curvas médias mensais de ET_{OPM} , ET_{OHarg} e ET_{OAHarg} para a cidade de Manaus.

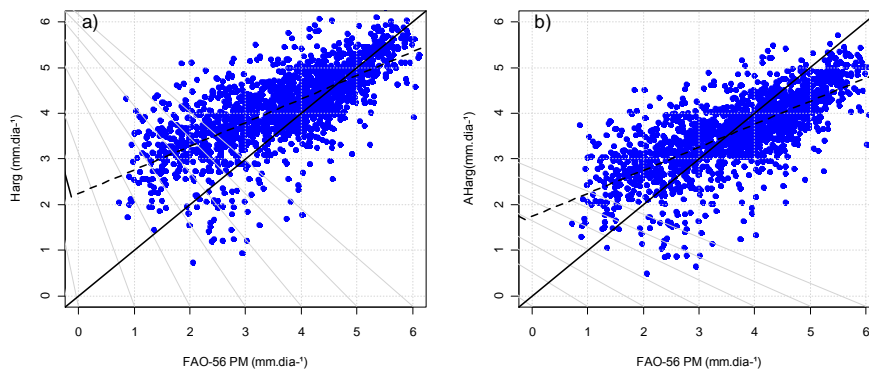


Figura 2.: Regressão entre (a) ET_{OPM} e ET_{OHarg} e (b) ET_{OPM} e ET_{OAHarg} .

A Figura 3 ilustra os histogramas e densidades para as distribuições da ET_o estimada pelos métodos de ET_{OPM} com ET_{OHG} (Figura 3a) e com ET_{OAHarg} (Figura 3b). Pode-se observar que a ET_o estimada por ET_{OPM} , ET_{OHG} e ET_{OAHarg} apresentaram uma distribuição normal. O pico de ocorrência dos valores de ET_o foi distinto para os valores de ET_{oharg} , enquanto que para o ET_{OAHarg} os picos ficaram em fase. Os valores de ET_{OHarg} tiveram o pico maior de ocorrência para os valores de 3,5 a 4,5 $mm.dia^{-1}$, enquanto que o método de ET_{OAHarg} teve a maior ocorrência para valores de 3 a 4 $mm.dia^{-1}$.

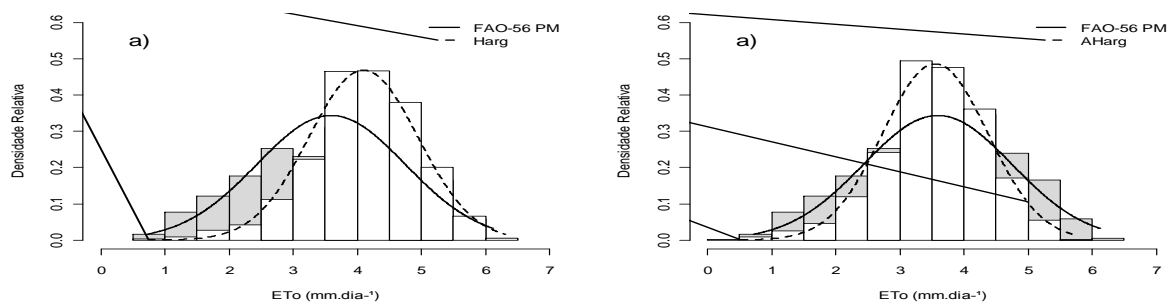


Figura 3: Densidade relativa e histograma de frequência (branco – Hargreaves, cinza – Penman-Monteith). (a) ET_{OHarg} e (b) ET_{OAHarg} .

4. Conclusões

Por meio deste estudo pode-se concluir que o método de Hargreaves, mesmo ajustado, continua a subestimar e superestimar os valores de ETo para o município de Manaus, portanto em menor quantidade. Mesmo com o desempenho do método de Hargreaves, vale salientar que a equação ajustada localmente é uma alternativa para estimar os valores de ETo em locais em que a disponibilidade de dados meteorológicos é limitado.

5. Referências Bibliográficas

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 370p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

Fernandes, D.S.; Heinemann, A.B.; Paz, R.L.F.; Amorim, A.O.; Cardoso, A.S. **Evaporanspiração – Uma revisão sobre os métodos empíricos**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 44p. (Documentos, 263).

Fooladmand, H. R.; Zandilak, H.; Ravanan, M. H. **Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran**. Archives of Agronomy and Soil Science, v.54, p.321-330, 2008.

França Neto, A.C.F.; Mantovani, E.C.; Sedyama, G.C.; Leal, B.; Simão, F.R.; Zinato, C.E. **Comparação entre métodos simplificados de estimativa de ETo nas regiões do Triângulo Mineiro e do Oeste da Bahia**. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 6, 2003, Araguari MG. **Anais...**Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. P. 102-106.

Gavilán, P. et al. **Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment**. Agricultural Water Management, v.81, p.257-281, 2006.

Heinemann, A. B. et al. **Características climáticas dos municípios de Santo Antônio de Goiás (GO), Porangatu (GO), Janaúba (MG), Sete Lagoas (MG), Parnaíba (PI) e Teresina (PI)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. 36p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 214).

Mudrik, A.S.; Faccioli, G.G.; Souza, L.O.C.; Mantovani, E.C. **Comparação da evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelos modelos teóricos de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, com uso do software SISDA**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5, 2002, Araguari. **Anais**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. p.129-132.

Pruitt, W.O., Doorenbos, J. **Empirical Calibration, a Requisite for Evapotranspiration Formulae Based on Daily or Longer Mean Climatic Data**. In: International Round table Conference on Evapotranspiration. International Commission on Irrigation and Drainage, Budapest, Hungary, 20 pp, 1977.