

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DIÁRIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO CAFFEEIRA DE AREADO – MG

Sérgio A. F. JUNIOR¹; Thomé S. ALMEIDA²

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo comparativo de cinco métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições climáticas de uma fazenda cafeeira em Areado, Sul de Minas Gerais. Foi utilizado um conjunto de dados diários de 9 anos (2006 a 2014) das temperaturas máximas e mínimas, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar. Para comparar os valores de ET_0 estimados por meio das equações empíricas com os do método padrão Penman-Monteith (FAO56) foram consideradas análises de regressão e estudos estatísticos dos erros. Analisando todo o período de estudo, a equação de Hargreaves-Samani mostrou-se ser a mais precisa. O método de Camargo apresentou o pior desempenho para as condições climáticas estudadas.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é um parâmetro essencial para planejamento e manejo da irrigação, estudos hidrológicos e climatológicos (Kisi, 2014) e principal elemento da modelagem agrometeorológica para monitoramento das culturas agrícolas e estimativa da produtividade.

A quantidade de água consumida pela vegetação é estimada a partir de dois passos: Primeiramente é realizado o cálculo de um indicador da demanda atmosférica, chamado de evapotranspiração de referência, no qual a vegetação de referência é uma grama verde, com altura uniforme, cobrindo totalmente o solo e sem déficit hídrico (Doorenbos and Pruitt, 1977). O segundo passo trata-se da conversão de ET_0 em ET, através do coeficiente da cultura, que considera o tipo de

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Muzambinho. Muzambinho/MG, email: serdioferreira55@yahoo.com.br;

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Passos. Passos/MG, email: thome.almeida@ifsuldeminas.edu.br;

cultura agrícola, estágio fenológico, da fração de cobertura do solo e umidade do solo (Allen et al. 1998).

Diversos métodos empíricos e/ou físicos para a estimativa da ET_0 tem sido desenvolvidos e avaliados durante os últimos 50 anos (Tabari et al. 2013). Dentre os métodos o de Penman-Monteith (PM-FAO) foi recomendado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) como o padrão para calcular a ET_0 e assim tornou-se referência para a utilização em todas as localidades do mundo. Contudo, o método PM-FAO requer uma quantidade de dados climáticos, como temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e umidade do vento o que limita seu uso para algumas regiões onde se carece de medições desses dados. Dessa forma, métodos mais simplificados para a estimativa da ET_0 foram desenvolvidos, em que somente algumas medições de dados climáticos são utilizados. Dentre esse podemos citar os métodos radiativos como Makkink (1957) e Priestley & Taylor (1972) que possuem como base a radiação solar, e os métodos que utilizam a temperatura do ar como Hargreaves & Samani (1985) e Camargo (1983).

A escolha do método de estimativa da ET_0 depende do seu desempenho para uma determinada região climática, da finalidade do uso, e, principalmente, do custo para aquisição dos equipamentos para medição dos dados meteorológicos.

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a eficiência de cinco métodos para a determinação da ET_0 diária: Hargreaves & Samani (1985), Jensen-Haise (1963), Makkink (1957), Priestley-Taylor (1972) e Camargo (1983) para uma fazenda cafeeira da região do Sul de Minas Gerais, comparando-os com o método padrão de Penman-Monteith (PM-FAO), utilizando metodologias estatísticas para suas avaliações de desempenho.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a Fazenda Santa Helena, no município de Areado, na região do Sul de Minas Gerais, situada a uma latitude de $21^{\circ} 22' 8,01''$, longitude de $46^{\circ} 1' 9,91''$ e altitude de 789 metros. A região é classificada com um clima Cwa segundo a classificação climática de Köppen (1936), possuindo um inverno seco e verão chuvoso. Foram utilizados, para a aplicação dos métodos, dados da estação meteorológica Vantage Pro2 instalada na fazenda em que as principais variáveis utilizadas foram a temperatura máxima e mínima do ar ($^{\circ}C$), velocidade do vento

(m.s⁻²), umidade relativa do ar (%) e radiação solar (MJ.m⁻².d⁻¹). O período de coleta de dados diários abrangem os anos de 2006 a 2014.

Para cálculo do método de evapotranspiração foi utilizado o método de Penman-Monteith padrão FAO56 (Equação 1), calculado para intervalos de 24 horas:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que a ET_o é dada em (mm.d⁻¹), Rn o saldo de radiação a superfície da cultura (MJ.m⁻².d⁻¹), G a densidade do fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².d⁻¹), T a temperatura média do ar (C°), u_2 a velocidade média do vento a 2m de altura (m.s⁻¹), $(e_s - e_a)$ o déficit de pressão de vapor (Kpa), Δ a curva de pressão de vapor (Kpa.C°⁻¹) e γ a constante psicrométrica (Kpa.C°⁻¹).

Os métodos Hargreaves-Samani (ET₀-HS), Jensen-Haise (ET₀-JH), Makkink (ET₀-Ma), Priestley-Taylor (ET₀-PT) e Camargo (ET₀-C) são descritos respectivamente pelas equações 2, 3, 4, 5 e 6:

$$ET_o = 0,0135 \cdot R_s \cdot (17,8 + T) \quad (2)$$

$$ET_o = R_s \cdot (0,0252T + 0,078) \quad (3)$$

$$ET_o = 0,61 \cdot W \cdot R_s - 0,12 \quad (4)$$

$$ET_o = \alpha \cdot W \cdot (R_s - G) \quad (5)$$

$$ET_o = F \cdot R_a \cdot T \cdot X \quad (6)$$

sendo R_s é a radiação solar, expressa em evaporação equivalente (mm.d⁻¹), T a temperatura média (C°), W o fator de ponderação que é calculado em função da temperatura média do período e altitude local, $\alpha = 1,26$ um valor de ajuste para a Equação 5, R_a a radiação solar extraterrestre média (mm.d⁻¹), X o número de dias do período ($X=1$) e F um fator de ajuste, com valor de 0,01, para Equação 6.

Para avaliar o desempenho dos modelos foram utilizados análises de regressão simples e os erros dos modelos foram computados pela raiz do erro quadrático médio (REQM) e pelo erro absoluto médio (EAM), Equações 7 e 8 respectivamente.

$$REQM = \sqrt{\left(N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right)} \quad (7)$$

$$EAM = N^{-1} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (8)$$

Em suporte as análises dos erros foram calculados o índice de concordância "d" (Willmott et al., 1985) e o índice de confiança "c" (Camargo & Sentelhas 1997). O índice "d" (Equação 9) consiste em uma medida que avalia o quanto o modelo avalia o afastamento dos dados estimados da média observada. O índice de concordância "c" tem um intervalo variando entre 0 e 1. Considerou-se um índice de confiança "c" igual ao produto da correlação R (a partir das análises de regressão) pela concordância "d": $c = R.d$. Propõe-se que o índice $c = 0$ indique confiança nula e o índice $c = 1$ signifique confiança perfeita (Camargo & Sentelhas 1997).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (9)$$

em que P_i são os valores estimados da ET_0 (mm.d⁻¹), O_i são valores de ET_0 calculados pelo método PM FAO 56 (mm.d⁻¹) e O é a média dos valores de ET_0 obtida pelo método padrão, mm.d⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a relação entre o método PM-FAO com os demais métodos para estimativa da evapotranspiração em escala diária para todo o período de estudo. Observou-se que os métodos ET_0 -HS, ET_0 -JH, ET_0 -Ma e ET_0 -PT apresentaram coeficiente de determinação R^2 entre 0,91 e 0,93 indicando boa concordância entre os métodos, comparando-os com o PM-FAO. O método de Camargo (ET_0 -C) apresentou maior dispersão dos pontos comparados. Esse fato pode estar relacionado com a função do detalhamento das estimativas (diárias) visto que o método foi desenvolvido para períodos acima de 10 dias.

A Tabela 1 mostra os resultados da regressão entre os valores calculados pelos métodos e o erro associado a cada método através dos índices estatísticos. Os métodos ET_0 -C e ET_0 -JH apresentaram os piores desempenhos entre os métodos, com os maiores valores dos erros EAM e REQM, e dentro do índice de confiança, o método de Camargo apresentou um desempenho "sofrível", $c = 0,527$ segundo a interpretação de Camargo & Sentelhas (1997). Todos os outros métodos, segundo a análise do índice c, obtiveram a classificação de "muito bom" ($0,76 < c < 0,85$) e "ótimo" ($c > 0,85$), valores classificados de acordo com os mesmos autores.

O melhor desempenho entre os métodos analisados foi de Hargreaves-Samani (ET0-HS), sendo a REQM de 0,597 mm.d⁻¹, o erro absoluto médio (EAM) que fornece a magnitude média dos erros foi de 0,502 mm.d⁻¹. O método apresenta coeficiente de determinação (R²) de 0,93 e índice de concordância de 0,96, comprovando boa concordância com o método padrão, sendo que, pelo “índice c”, o método pode ser considerado como ótimo (c=0,92).

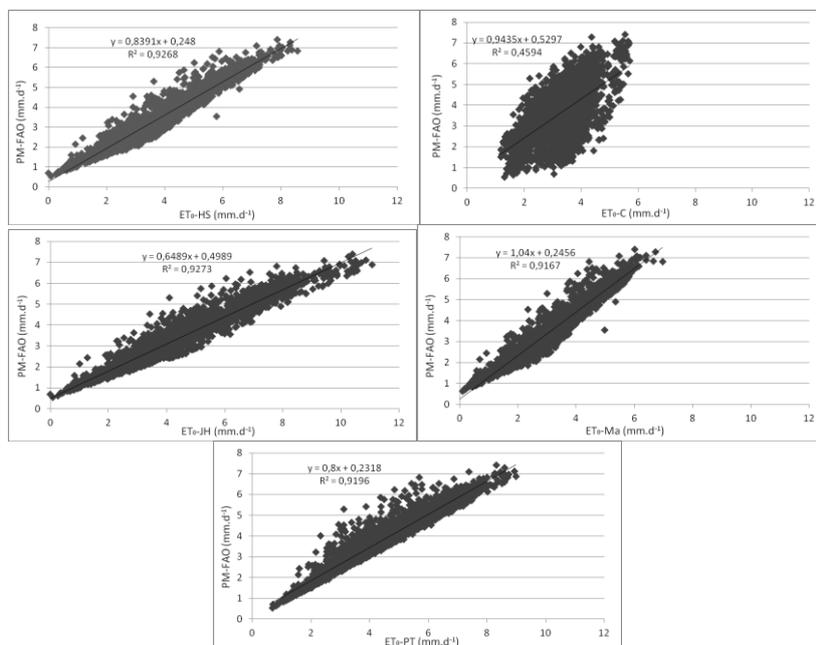


Figura 1 - Relação entre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária.

Tabela 1 - Avaliação dos métodos de cálculo da evapotranspiração de referência considerando todo período de estudo.

Modelo	Análise de Regressão				Análise dos Erros			
	a	b	R2	R	REQM	EAM	d	c
ET0-HS	0,839	0,248	0,927	0,964	0,597	0,502	0,959	0,923
ET0-C	0,943	0,530	0,459	0,678	1,07	0,885	0,777	0,527
ET0-JH	0,649	0,499	0,927	0,964	1,42	1,211	0,843	0,813
ET0-Ma	1,040	0,246	0,918	0,957	0,546	0,444	0,957	0,916
ET0-PT	0,800	0,232	0,920	0,959	0,793	0,681	0,932	0,894

CONCLUSÕES

O método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou melhor coeficiente de determinação, comprovando uma boa concordância com o método de Penman-Monteith, para a região da cidade de Areado-MG. Podendo substituir o método padrão Fao-56 nessa região, quando necessário sua aplicação.

Já o método de Camargo foi o que obteve o pior desempenho, isso pode se dar ao fato de que o método foi criado para estimar em períodos mínimos de 10 dias.

Os outros demais métodos também apresentaram resultados satisfatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

CAMARGO, A. Paes; CAMARGO, M.B. Paes. Teste de uma equação simples para estimativa da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., Campinas, Anais...Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983, p. 229-244.

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**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 24**, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome. 1977.

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

JENSEN, M.E.; HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. IR4, p. 15-41, 1963.

KISI, O. Comparison of Different Empirical Methods for Estimating Daily Reference Evapotranspiration in Mediterranean Climate. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 140, n. 1, 2014.

KOPPEN, W. Das geographische System der Klimate. **Handbuch der Klimatologie**, v. 1, p. 1-44, 1936.

MAKKINK, G.F. Exzamento de la formula de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 3, p. 290-305, 1957.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. **Monthly Weather Review**, v. 100, n. 2, p. 81-92, 1972.

TABARI, H.; GRISMER, E. M.; and TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science**, v. 31, n. 2, p. 107-117, 2013.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.