

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA DIAMANTINA - MG

JOÃO P. G. VIEIRA¹, MARIA J. H. SOUZA², FRANCINE A SOUSA³, JOSIANE M. TEXEIRA⁴

1 Graduando de Eng. Florestal, bolsista FAPEMIG, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina - MG, Fone (0xx31) 9115-8847, joaopaulofloresta@yahoo.com.br.

2 Prof^a Dr^a. Adjunta, Depto de Agronomia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina - MG

3 Graduanda de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha Mucuri (UFVJM), Diamantina - MG

4 Prof^a. Assistente, Depto. Ciências Básicas/Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina - MG

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de Julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: Esse trabalho teve como objetivo avaliar a performance dos modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) pelos métodos de Thornthwaite, Hargreaves e Samani, Makkink e Penman Original (1948) e compará-los com os valores obtidos pelo método padrão de Penman-Monteith, em Diamantina-MG. Utilizou-se de dados climáticos referentes ao período de 1972 a 1990. Os métodos que melhores estimaram a ET_0 foi o de Makkink com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,86 e um erro padrão de estimativa (EPE) de 0,98 mm dia⁻¹ e o de Penman Original (R^2 de 0,85 e o de EPE de 2,14 mm dia⁻¹). O único método que superestimou a ET_0 foi o de Hargreaves e Samani com um erro médio (EM) de 4,55 mm.dia⁻¹, sendo que este método apresentou os maiores erros.

PALAVRAS-CHAVE: modelos de estimativa, evapotranspiração, manejo de irrigação.

EVALUATION OF THE METHODS FOR ESTIMATING THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN DIAMANTINA COUNTY-MG

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the performance of the models for estimating the reference evapotranspiration (ET_0), by applying the methods by Thornthwaite, Hargreaves and Samani, Makkink, and Original Penman (1948), as well as to compare them with the values obtained by the Penman-Monteith's standard method, in Diamantina-MG. The climatic data relative to the period from 1972 to 1990 were used. The best ET_0 estimates were obtained by the Makkink method with a determination coefficient (R^2) of 0.86 and an estimate standard error (EPE) of 0.98 mm day⁻¹, as well as the Standard Penman's method (R^2) of 0.85 and the EPE of 2.14 mm day⁻¹. The only method that overestimated the ET_0 was that by Hargreaves and Samani with an **average** error (EM) of 4.55 mm.day⁻¹ that also showed the highest errors.

KEYWORDS: estimate models, evapotranspiration, irrigation management

INTRODUÇÃO: Um dos fatores da produtividade agrícola de qualquer região está ligada às condições climáticas do local sendo crucial um estudo detalhado destas variáveis para estimar

quanto será investido em irrigação e manuseio da cultura. As disponibilidades hídricas de uma região não podem ser determinadas apenas por suas precipitações, já que esta caracteriza apenas uma das fases do ciclo hidrológico (RODRIGUES et al., 1995). Os métodos de cálculo de evapotranspiração e de balanço hídrico são capazes de verificar com uma maior precisão as características meteorológicas de determinada região, estes métodos foram formulados com a finalidade de saber de forma ampla e objetiva considerando os principais elementos meteorológicos como: precipitação, radiação solar, temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, fluxo de calor no solo e velocidade do vento (PEREIRA et al., 2002). De acordo com RODRIGUES et al. (1995), o método de Thorthwaite foi um dos pioneiros nos cálculos de evapotranspiração de referência, levando em consideração as temperaturas médias do local, porém esse método foi elaborado e bem avaliado para a região norte-americana onde se tem um predomínio de clima temperado. Quando se estuda a evapotranspiração de determinado local a FAO (Organização Mundial da Agricultura) recomenda que o mesmo seja feito pelo método de Penman-Monteith (1991), apresentado por PEREIRA et al. 1997 e 2002, por esse apresentar um melhor resultado. Em 1990, os métodos recomendados pela FAO em 1977 foram submetidos a uma revisão feita por especialistas em evapotranspiração, chegando-se à conclusão de que o método de Penman-Monteith parametrizado para grama, com 12 cm de altura, resistência aerodinâmica da superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23, apresentava melhores resultados, passando a ser recomendado pela FAO como método-padrão para estimativa da ET_0 . Este trabalho teve como objetivo avaliar os métodos de estimativa da ET_0 , comparando os resultados obtidos com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith (1991).

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido nas dependências da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), utilizando dados obtidos no 5º Distrito de Meteorologia, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e com os dados publicados nas normais climatológicas (Brasil, 1992). Utilizou-se a metodologia desenvolvida por Penman-Monteith (apresentada por PEREIRA et al. 1997 e 2002) como método padrão, sendo :

$$ET_{0 \text{ PM}} = \frac{0,408 (R_n - G) + \gamma (900/T + 273) u^2 (e_s - e_a)}{\Delta + \Delta (1 + 0,34u_2)}$$

em que: $ET_{0 \text{ PM}}$ é a evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}); R_n a radiação líquida na superfície das culturas ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); G é a densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); T a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$); u^2 a velocidade do vento a 2m do solo (m/s^{-1}); e_s a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a a pressão atual de vapor (kPa); $e_s - e_a$ o déficit de pressão de saturação de vapor (kPa); Δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$); e γ a constante psicrométrica ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$). O método de evapotranspiração de Thornthwaite, 1948 citado por (VIANELLO e ALVES, 1991) baseia-se principalmente na temperatura média do ar, tendo a fórmula a seguir: $ET_{0 \text{ TH}} = 1,6(10T/I)^a$ em que: ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}), calculada para um mês de 30 dias (considerando um dia de 12 horas de duração); T é a temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$); I o índice térmico anual e a é uma constante que varia para cada local, calculadas conforme as equações a seguir:

$$I_n = \sum^{12} I_n ; I_n = (T_n/5)^{1,514}$$

$$a = (6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2) + (1,792 \times 10^{-2} \times I) + 0,49239$$

sendo T_n a temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$) para o n-ésimo mês; e o índice n representa os meses do ano.

Outro método avaliado foi o método de Makkink, 1957 (citado por PEREIRA et al., 1997) que é muito viável em regiões em que se dispõe de poucos dados meteorológicos; sendo que a fórmula baseia-se no fator de ponderação dependente da temperatura (W), do coeficiente psicométrico e da radiação solar ao nível da superfície (Rs):

$$ET_{0Makkink} = 0,61 * WRs - 0,12$$

Outro método que foi testado é o de Heargreaves e Samani, em que o cálculo se baseia na radiação no topo da atmosfera (Qo) em mm.dia⁻¹, da temperatura máxima (Tmáx) e da temperatura mínima (Tmín), sendo:

$$ET_{0HS} = 0,0023 * Qo * (Tmáx - Tmín)^{0,5} * (Tmed. + 17,8)$$

O método de Penman-Monteith (1991) recomendado pela FAO se baseou no modelo original de Penman 1948, sendo ele:

$$ET_{0PO} = 0,408 \frac{(\Delta/\gamma) Rn + Ea}{(\Delta/\gamma) + 1}$$

em que: Ea é igual a $0,643 (1 + 0,54 u_2) (e_s - e_a)$; e_s a pressão de saturação do vapor d'água, e_a é a pressão real de vapor d'água e u_2 a velocidade do vento. Para o cálculo da ET₀ diária utilizaram-se os dados diários médios mensais: temperatura, umidade relativa, vento, insolação. Para calcular o balanço de radiação (Rn) foram estimados o balanço de ondas longas (Bol) e o balanço de ondas curtas (Boc). O Bol foi estimado pela equação de Brunt modificada pela FAO (citada por PEREIRA et al., 1997) e o Boc a partir da estimativa da irradiância solar global empregando a equação proposta por Ångström, 1924, e modificada por Prèscott, 1940, utilizando os coeficientes sugeridos por Glover e McCulloch, 1958 (ambos os autores citados por VIANELLO e ALVES, 1991). O fluxo de calor no solo foi desprezado por representar uma parcela pequena no processo. Foi calculado o erro percentual (E%), erro médio (EM), erro padrão de estimativa (EPE), o coeficiente de determinação (R²) e o coeficiente de inclinação da reta (a₁).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na tabela 1 podem-se visualizar os valores estimados de ET₀ pelos métodos avaliados. Os valores estimados da ET₀ também podem ser visualizados nos gráficos apresentados na Figura 1.

Tabela 1. Dados relativos à temperatura (°C) e evapotranspiração referência (mm. dia⁻¹) calculada pelos referidos métodos

MESES	T (°C)	PENMAN-MONTEITH (PADRÃO FAO)	MAKKINK	HEARGREAVES SAMANI	PENMAN ORIGINAL (1948)	THORTHWAITE
Jan.	19,8	3,49	2,96	4,45	3,15	2,90
Fev	20,0	4,34	4,02	6,92	3,81	2,82
Mar	19,9	3,78	3,51	5,49	3,30	2,68
Abr	18,5	3,18	3,09	4,56	2,64	2,22
Mai	17,1	2,65	2,70	4,02	2,00	1,83
Jun	16,0	2,31	2,34	3,55	1,57	1,57
Jul	15,3	2,56	2,63	4,08	1,67	1,39
Ago	16,5	3,16	3,08	5,05	2,22	1,74
Set	17,4	3,49	3,21	5,10	2,76	2,02
Out	18,7	3,70	3,33	5,20	3,17	2,43
Nov	19,1	3,70	3,32	4,97	3,34	2,63
Dez	19,3	3,73	3,38	4,92	3,45	2,72

Tabela 2. Coeficiente de determinação, R^2 , coeficientes de inclinação da reta obtida entre os dados estimados e observados, a_1 , erro percentual médio, E%, erro médio, EM, e erro padrão de estimativa, EPE, obtidos através da estimação da ET_0 diária para os métodos em estudo

MÉTODOS	R^2	a_1	E%	EM (mm.dia ⁻¹)	EPE (mm.dia ⁻¹)
Makkink	0,86	1,29	-5,55	-0,63	0,98
Penman Original	0,85	0,98	-18,79	-1,75	2,14
Heargreves Samani	0,80	0,78	46,09	4,55	5,44
Thorthwaite	0,75	0,62	-33,10	-3,28	3,91

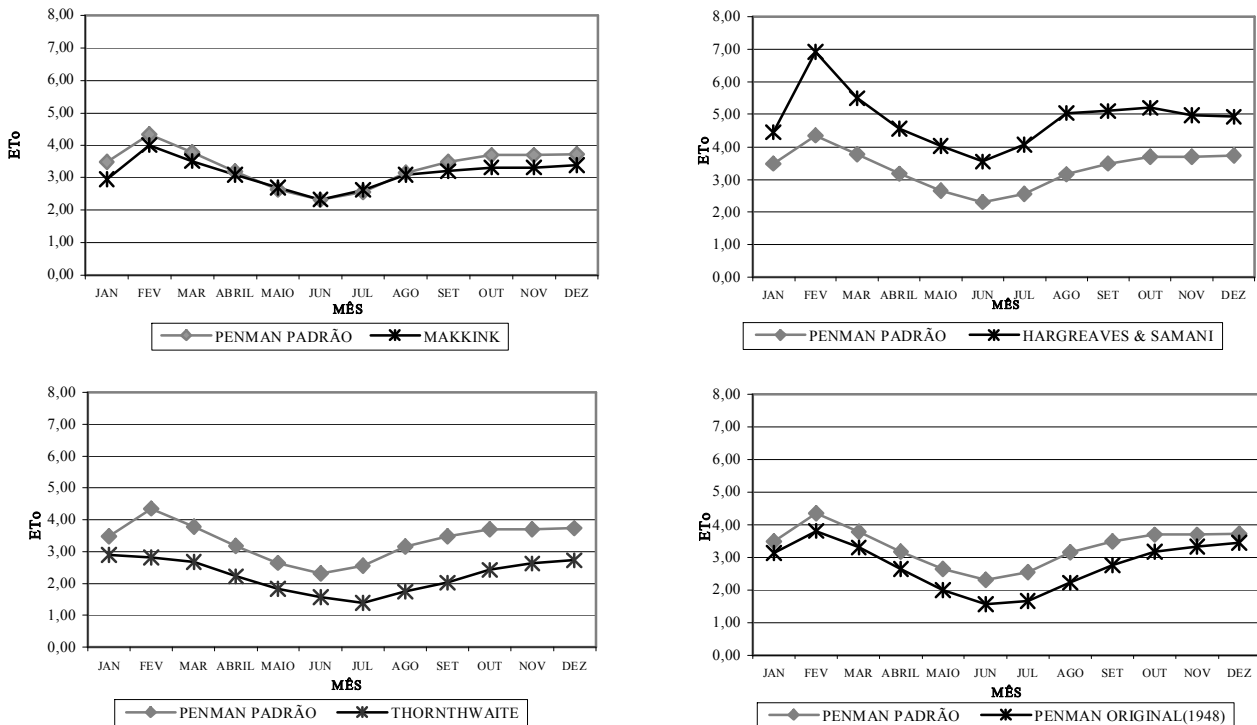


Figura 1. Evapotranspiração potencial em mm.dia⁻¹ estimados pelo método de Penman-Monteith comparados aos outros métodos estudados para a cidade de Diamantina – MG.

Observa-se na Figura 1 e na Tabela 2 que os métodos que melhores estimaram a ET_0 foi o de Makkink com um R^2 de 0,86 e EPE de 0,98 mm dia⁻¹ e o de Penman (1948) com um R^2 de 0,85 e o de EPE de 2,14 mm dia⁻¹, sendo que este último apresentou uma maior diferença na estimativa de ET_0 , durante todos os meses do ano, quando comparado aos valores estimados pelo método padrão de Penman-Monteith. O único método que superestimou a ET_0 foi Heargreaves e Samani com um EM de 4,55 mm.dia⁻¹, sendo o que apresentou os maiores erros (Tabela 2) e uma maior diferença entre os valores estimados de ET_0 e os obtidos pelo método padrão, isso para todos os meses do ano como pode ser visivelmente observado na Figura 1. Ressalta-se que o método de Thornthwaite (R^2 de 0,75 e um EPE de 3,91 mm.dia⁻¹) foi o que mais subestimou a ET_0 . Para obtenção de melhores estimativas de ET_0 basta multiplicar os resultados obtidos pelos métodos por um fator de calibração, sendo eles de: 1,09 para ET_0 estimada pelo método de Makkink; 0,6895 para o método de Heargreaves e Samani; 1,48 para o método de Thornthwaite e 1,2 para o método de Penman- Original (1948).

CONCLUSÃO: A maioria dos métodos estudados apresentaram resultados discrepantes em relação ao modelo de Penman-Monteith, sendo que os métodos de Makkink e de Penman (1948) geraram resultados mais satisfatórios, apresentado os menores erros e maiores coeficientes de determinação, podendo, desta forma, serem empregados por técnicos, da área agropecuária, para o cálculo de ET_0 . Ressalta-se a vantagem do método de Makkink ser de mais fácil utilização, necessitando de menor número de variáveis de entrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA NORMAL CLIMATOLÓGICA. BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação (1961-1990). Brasília: 1992. 84p.
- MENDONÇA, J. C.; SOUZA, E. F.; BERNADO .S, B.; GUTEMBERG, P. D.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_0) na região Norte Fluminense, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola 2005.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba – RS: Livraria e editora Agropecuária, 478p, 2002.
- PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração. Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz - FEALQ. Piracicaba, SP, Brasil, 183p. 1997.
- RODRIGUES G. S.; BEZERRA, A. K. P.; MARTINS, G. S. Balanço Hídrico segundo Thornthwaite-Mather para alguns Municípios do Estado do Ceará utilizando diferentes metodologias de Cálculo da Evapotranspiração de Referência (ET_0). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola 1995.
- VESCOVE, H. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola. Departamento de Engenharia Rural FCAV/UNESP. 2004.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 449p. 2000.