

# ESTUDO COMPARATIVO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA ALGUMAS LOCALIDADES NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL<sup>1</sup>

Luiz Fernando Coutinho de Oliveira<sup>2</sup>, Daniel Fonseca de Carvalho<sup>3</sup>,  
Patrícia de Araújo Romão<sup>4</sup> e Fernando Cardoso Cortês<sup>5</sup>

## ABSTRACT

COMPARATIVE STUDY OF ESTIMATIVE MODELS FOR REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR SELECTED SITES IN GOIÁS AND DISTRITO FEDERAL

It was evaluated different methods of estimate of the reference evapotranspiration and made himself the comparison with the model Penman-Monteith, for some places in the state of Goiás and Distrito Federal. They were adjusted equations of lineal regression between this and the models FAO-Penman (Pn), FAO-Radiation (Ra), and Hargreaves (Hg). Para the studied places can be concluded that the daily values of ETo were better esteemed by the methods of Pn, Hg followed by the Ra, and that both models overestimated ETo when compared with to pattern of PM, what shows the need of the obtaining of local coefficients for best to esteem ETo for those models.

KEY WORDS: Evapotranspiration, irrigation, Penman-Monteith.

## RESUMO

Avaliaram-se diferentes modelos de estimativa da evapotranspiração de referência e fez-se a comparação com o modelo Penman-Monteith, para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. Foram ajustadas equações de regressão linear entre este e os modelos FAO-Penman (Pn), FAO-Radiação(Ra), e Hargreaves (Hg). Para as localidades estudadas pode-se concluir que os valores diários de ETo foram melhores estimados pelos modelos de Pn, Hg seguido do Ra, e que ambos os modelos superestimaram ETo, quando comparados com a padrão de PM, o que mostra a necessidade da obtenção de coeficientes locais para melhor estimar ETo por esses modelos.

PALAVRAS-CHAVE: Evapotranspiração, irrigação, Penman-Monteith.

## INTRODUÇÃO

A estimativa adequada da evapotranspiração da cultura (ETc) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, uma vez que totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura durante determinado período. A ETc é obtida através do valor da evapotranspiração potencial de uma cultura de referência (ETo) corrigida pelo coeficiente da cultura (Kc), sendo este dependente do tipo de cultura e seu estágio de desenvolvimento.

Apesar da existência de diversos modelos para se estimar a ETo, eles, no entanto, são utilizados em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidos e, por isso, é de extrema importância avaliar o grau de exatidão desses modelos, antes de utilizá-los para nova condição. Alguns autores e agências de desenvolvimento trouxeram ao conhecimento público contribuições técnicas muito importantes no estudo do consumo de água pelas plantas. Dentre elas, o mais usual é o que utiliza a idéia original de Van Dick e de Vries (Pruitt 1960, citado por Mantovani 1993),

1. Entregue para publicação em abril de 2001. Apoio Funape/UFG

2. Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. CP. 131- CEP.- 74.001-970 - Goiânia-GO. E-mail: lfco@agro.ufg.br

3. Instituto de Tecnologia da UFRRJ. E-mail: carvalho@ufrj.br

4. Instituto de Estudo Socioambiental da Universidade Federal de Goiás. E-mail: patricia@iesa.ufg.br

5. Engenheiro Agrônomo. E-mail: fernando@agro.ufg.br

que consiste em definir uma cultura de referência, cujo consumo (ET<sub>o</sub>) é uma medida da demanda evaporativa do ar. Smith (1991) definiu a evapotranspiração de referência como sendo aquela de uma cultura hipotética, com altura uniforme de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cobertura ao transporte de vapor de água igual a 70 s.m<sup>-1</sup>, o que representaria a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento ativo cobrindo totalmente a superfície do solo, e sem falta de água. Em 1990 foi proposta a padronização para a estimativa da ET<sub>o</sub>, sendo a equação de Penman-Monteith recomendada como modelo-padrão de cálculo da ET<sub>o</sub>. Alves Sobrinho *et al.* (1997), Bonomo *et al.* (1998) e Oliveira & Carvalho (1998) compararam várias metodologias de estimativa de ET<sub>o</sub> com o modelo Penman-Monteith, e os resultados encontrados apresentaram altos níveis de correlação. Este fato indica a possibilidade de se utilizarem modelos que exigem poucas variáveis climatológicas na estimativa da ET<sub>o</sub>, baseados no modelo de Penman-Monteith.

Para a região de Goiânia (GO) foram realizados alguns estudos comparativos entre modelos de estimativa de ET<sub>o</sub> com dados medidos em lisímetros e tanque classe A. Lobato & Lobato (1979) correlacionaram valores de ET<sub>o</sub> mensais medidos em lisímetros de drenagem, com os modelos de Thornthwaite, Camargo, Holdridge, Blaney-Criddle, Grassi-Christiansen e Garcia-Lopez. Segundo os autores, para a estimativa de ET<sub>o</sub> e estudo do balanço hídrico e disponibilidade hídrica no solo para Goiânia e circunvizinhanças, os modelos de Thornthwaite, Camargo, Holdridge e Blaney-Criddle foram os que apresentaram uma boa correlação com os valores medidos.

Stone & Silveira (1995) compararam nove modelos de estimativa de ET<sub>o</sub> com os resultados obtidos a partir da evaporação do tanque classe A para o município de Santo Antônio de Goiás. Com base nos resultados obtidos os autores verificaram que o modelo de Penman foi o que apresentou maior coeficiente de correlação com os valores medidos pelo tanque classe A, seguido dos modelos de Hargreaves e Garcia-Lopez. Esses dois últimos modelos empregam na sua formulação a umidade relativa, variável climática que mais influenciou a evaporação do tanque classe A, o que justifica a alta correlação dos valores medidos e estimados de ET<sub>o</sub>.

Silva & Castro (1998) fizeram uma analogia entre modelos de estimativa de ET<sub>o</sub> disponíveis no software REF-ET desenvolvido por Allen *et al.* (1994), para o município de Goiânia (GO), empregando dados

meteorológicos médios mensais referentes ao período de 1983 a 1994 e considerando o modelo de Penman-Monteith como padrão. Nas estimativas de ET<sub>o</sub>, os autores concluíram que, para Goiânia, o modelo que melhor estimou a ET<sub>o</sub> foi o FAO-Penman, sendo o modelo FAO-Radiação o que apresentou a maior dispersão quando comparado com o modelo de Penman-Monteith.

Em vista do exposto, este trabalho teve como objetivo comparar os modelos FAO-Penman, Hargreaves e Radiação com o modelo de Penman-Monteith para a estimativa de ET<sub>o</sub> para algumas localidades do Estado de Goiás e Brasília.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido utilizando-se dados diários de uma série de 14 anos de observação (1980 a 1994) de nove estações climatológicas localizadas no Estado de Goiás e Distrito Federal, entre as latitudes 14°06' e 18°11' (Sul) e longitudes 46°22' e 50°33' (Oeste). Das estações cadastradas no Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), foram selecionadas aquelas que apresentavam dados de precipitação, velocidade do vento, insolação, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura do bulbo molhado.

Para a estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET<sub>o</sub>) diária pelos modelos de Penman-Monteith (PM), FAO-Penman (Pn), FAO-Radiação (Ra) e Hargreaves (Hg), utilizou-se o software Demanda, desenvolvido por Carvalho (1998). Os modelos de PM, Pn, Ra e Hg estão apresentados pelas equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente:

$$ET_o = \frac{g}{d+g^*} (R_n - G) + \frac{1}{g} \frac{g}{d+g^*} \frac{900}{25} u_2 (e_a - e_d) \quad (1)$$

$$ET_o = \frac{g}{d+g} (R_n - G) + \frac{g}{d+g} 2,7(1 + 0,864 u_2)(e_a - e_d) \quad (2)$$

$$ET_o = b \left[ \frac{g}{d+g} R_s \right] - 0,3 \quad (3)$$

$$ET_o = c [0,0135 R_s (T + 17,8)] \quad (4)$$

onde:

ET<sub>o</sub> : evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>),

g : coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>),

RESULTADOS E DISCUSSÃO

$\bar{d}$  : declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>),

$\varphi$  : coeficiente psicrométrico modificado, função das resistências aerodinâmica e do dossel (kPa °C<sup>-1</sup>),

Rn : saldo de radiação à superfície da cultura

(MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>),

Rs : radiação solar global (mm dia<sup>-1</sup>),

G : fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>),

l : calor latente de evaporação (MJ kg<sup>-1</sup>),

T : temperatura média do ar (°C),

( $e_a - e_d$ ) : déficit de pressão de vapor (kPa),

$u_2$  : velocidade do vento a uma altura de 2 m (m s<sup>-1</sup>),

b : fator de correção e

c : fator de correção em função da umidade relativa média.

Com os valores diários de ETo, foram ajustadas equações de regressão lineares para cada localidade, a fim de verificar o comportamento da ETo estimada por Pn, Ra e Hg em relação à estimativa pelo modelo de PM.

Para o município de Goiânia e regiões vizinhas, fez-se uma analogia dos resultados comparativos entre os modelos empregados neste trabalho com os obtidos por Stone & Silveira (1995) e Silva & Castro (1998).

A Figura 1 apresenta a variação da ETo média mensal ao longo do ano para o município de Goiânia (GO), na qual se pode observar um mesmo comportamento nas ETo estimadas pelas diferentes metodologias, com um decréscimo da ETo nos meses de abril, maio e junho e uma elevação a partir do mês de agosto. O modelo de Pn foi o que mais se aproximou do padrão de PM, concordando com as comparações realizadas por Stone & Silveira (1995) e Silva & Castro (1998), pois ambos os modelos envolvem na sua formulação um efeito combinado do balanço de radiação e dos efeitos aerodinâmicos. O modelo de estimativa da ETo baseado na radiação solar e temperatura (Ra) foi o que apresentou maiores desvios em relação ao modelo-padrão de PM, principalmente nos meses de inverno, que têm a duração do dia reduzida, concordando com as analogias feitas por Stone & Silveira (1995) e Silva & Castro (1998). O modelo de Hg, segundo Stone & Silveira (1995), também se baseia na radiação solar e temperatura, mas leva em consideração a umidade relativa, o que reduz o erro na estimativa da ETo.

Para cada localidade empregada neste estudo, ajustaram-se equações de correlação entre as diferentes metodologias de estimativa de ETo e modelo de PM. A Figura 2 apresenta as correlações entre as diferentes metodologias de estimativa de ETo e modelo de PM, para o município de Goiânia (GO). A Tabela 1 apresenta a análise de variância da regressão entre os modelos Pn, Ra e Hg com o padrão PM, para o município de Goiânia (GO), em que se verifica que todos os modelos apresentaram alta significância pelo teste de F.

Tabela 1. Análise de variância da regressão linear entre os modelos Pn, Ra e Hg com o padrão PM município de Goiânia. Goiânia, GO. 2000.

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados dos desvios	Quadrado médio	F
Regressão (PM-Pn)	1	100,30	100,30	5.046,67 <sup>1</sup>
Resíduo	363	7,21	0,02	
Total	364	94,01		
Regressão (PM-Ra)	1	27,61	27,61	150,68 <sup>1</sup>
Resíduo	363	66,40	0,18	
Total	364	94,01		
Regressão (PM-Hg)	1	84,57	84,57	3.250,44 <sup>1</sup>
Resíduo	363	9,44	0,03	
Total	364	94,01	–	–

1. Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F

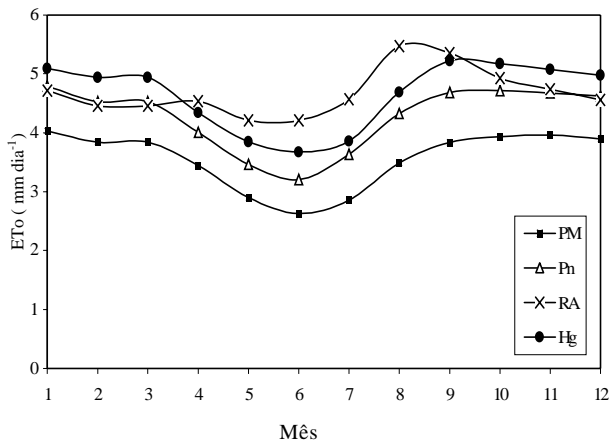


Figura 1. Evapotranspiração média mensal pelos modelos de PM, Pn, Ra e Hg no município de Goiânia, GO. 2000.

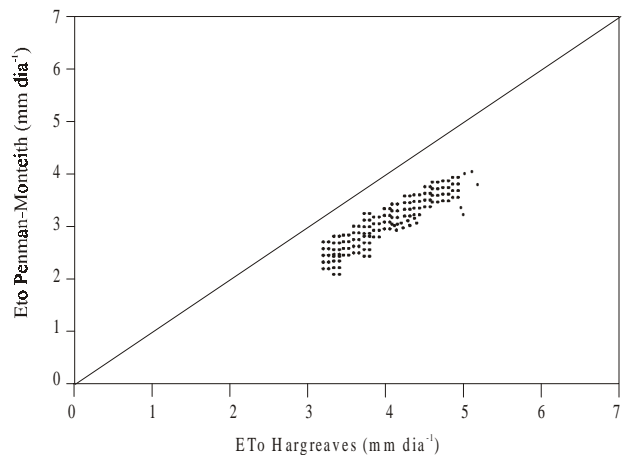
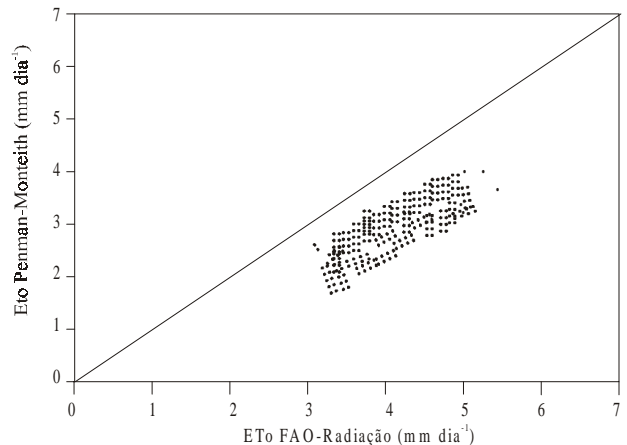
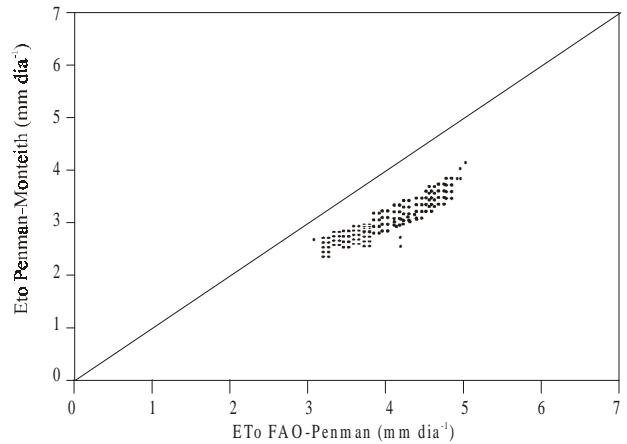


Figura 2. Correlação entre os modelos de enman-Monteith e FAO-Penman, FAO-Radiation e Hargreaves, no município de Goiânia, GO. 2000.

Os coeficientes linear (a) e angular (b) das equações ajustadas entre os modelos de Hg, Pn e Ra em relação PM, com os respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) e erro relativo médio (ERM), estão apresentados na Tabela 2. A ordem decrescente de aproximação dos modelos de estimativa de ETo, em relação ao modelo-padrão de PM, foi Pn, Hg e Ra para todas as localidades estudadas, o que pode ser

observado na Tabela 2 pelos valores de  $r^2$  e ERM. Embora apresentassem significância pela distribuição de F, os modelos superestimaram o valor de ETo quando comparados com o modelo-padrão, com ERM médio de 28,7, 16,3 e 13,2% para os modelos de Ra, Hg e Pn, respectivamente, o que mostra a necessidade da obtenção de coeficientes locais para melhor estimar ETo por essas metodologias.

Tabela 2. Relação das estações climatológicas utilizadas e valores dos coeficientes a, b, r<sup>2</sup> e ERM para algumas localidades do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia, GO. 2000.

Localidade	Coordenadas		Modelo	ETo (PM) = a + b ETo(Modelo)			
	Latitude	Longitude		a	B	r <sup>2</sup>	ERM (%)
Aragarças	14° 06'	46° 22'	Ra	1,2639	0,4952	0,5087 <sup>1</sup>	28,62
			Hg	-0,1668	0,7352	0,7864 <sup>2</sup>	14,10
			Pn	-0,0560	0,9480	0,9514 <sup>2</sup>	7,40
Brasília	15° 47'	47° 56'	Ra	1,5460	0,4425	0,6505 <sup>2</sup>	28,86
			Hg	1,0196	0,60712	0,8946 <sup>2</sup>	14,23
			Pn	0,5825	0,5980	0,8609 <sup>2</sup>	17,58
Catalão	18° 11'	47° 57'	Ra	0,3358	0,6857	0,6917 <sup>2</sup>	33,32
			Hg	0,4262	0,7184	0,9498 <sup>2</sup>	14,34
			Pn	-0,3644	0,8921	0,9618 <sup>2</sup>	12,02
Formosa	15° 32'	47° 02'	Ra	1,4962	0,4303	0,6812 <sup>2</sup>	32,64
			Hg	0,6425	0,6402	0,8197 <sup>2</sup>	17,61
			Pn	0,0531	0,8140	0,9260 <sup>2</sup>	11,31
Goiânia	16° 40'	49° 15'	Ra	0,9169	0,5598	0,5420 <sup>1</sup>	34,35
			Hg	-0,3886	0,8483	0,9484 <sup>2</sup>	19,97
			Pn	0,0607	0,8204	0,9609 <sup>2</sup>	11,37
Goiás	15° 55'	50° 08'	Ra	1,2799	0,5183	0,7134 <sup>2</sup>	24,77
			Hg	0,6827	0,5735	0,7442 <sup>2</sup>	21,97
			Pn	0,2483	0,7977	0,8908 <sup>2</sup>	17,00
Pirenópolis	15° 51'	48° 58'	Ra	0,2869	0,67998	0,7658 <sup>2</sup>	25,89
			Hg	0,8691	0,6038	0,8854 <sup>2</sup>	13,62
			Pn	1,0897	0,5447	0,9076 <sup>2</sup>	13,47
Posse	14° 06'	46° 22'	Ra	0,6616	0,7204	0,7232 <sup>2</sup>	20,89
			Hg	-0,6546	1,4474	0,8491 <sup>2</sup>	16,14
			Pn	1,0897	0,4844	0,8747 <sup>2</sup>	16,00
Rio Verde	17° 48'	50° 55'	Ra	0,8606	0,5895	0,6756 <sup>2</sup>	29,11
			Hg	0,7516	1,1217	0,9311 <sup>2</sup>	14,69
			Pn	0,7473	0,6449	0,9439 <sup>2</sup>	12,78

1 e 2. Significativos a 5% e 1 % de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

## CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que, para o município de Goiânia, todos os modelos apresentaram alta significância com o de Penman-Monteith, e o modelo que mais se aproximou do padrão foi o FAO-Penman, seguido pelos modelos de Hargreaves e FAO-Radiação, concordando com os resultados encontrados na literatura. Para as demais localidades estudadas verificou-se o mesmo comportamento, o que permite a estimativa da evapotranspiração de referência pelo modelo-padrão a partir dos resultados obtidos pelos modelos FAO-Penman, Hargreaves e FAO-Radiação, em que se empregaram as equações de regressão ajustada para cada localidade estudada neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Allen, R. G., M. Smith, A. Perrier & L. S. Pereira. 1994. An update for definition of reference evapotranspiration. *Irid, Bulletin*.
- Alves Sobrinho, T., R. Bonomo, E. C. Mantovani & G. C. Sedyama. 1997. Estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) para Dourados e Ponta Porã (MS). In Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26. Campina Grande, Paraíba. 325 p. Anais.
- Bonomo, R., E. C. Mantovani & G. C. Sedyama. 1998. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) para as regiões cafeeiras do triângulo e noroeste de Mi-

- nas Gerais. In Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27. Poços de Caldas, MG. p. 307-309. Anais
- Carvalho, D. F. 1998. Otimização do uso da água no perímetro irrigado do Gorutuba. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 145 p.
- Mantovani, E. C. 1993. Desarrollo y evaluacion de modelos para el manejo del riego: estimacion de la evapotranspiracion y efectos de la uniformidade de aplicacion del riego sobre la produccion de los cultivos. Tese de Doutorado. Córdoba, Argentina. 184 p.
- Lobato, O. J. M. & E. J.V. Lobato. 1979. Considerações sobre a evapotranspiração potencial medida e calculada no município de Goiânia e circunvizinhos. Anais das Escolas de Agronomia e Veterinária, 1: 50-73.
- Oliveira, M. A. A. & D. F. Carvalho. 1998. Estimativa da evapotranspiração de referência e demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Rio de Janeiro. In Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27. Poços de Caldas, MG. p. 94-96. Anais.
- Silva, S. C. & V. F. Castro. 1998. Analogia entre métodos para estimativa da evapotranspiração de referência (Eto), para Goiânia (GO), utilizando dados meteorológicos, médias mensais, referente ao período de 1983 a 1994, considerando-se o método de Penman-Monteith como padrão. In Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 9. Campina Grande, Paraíba. p. 212-13. Anais.
- Smith, M. 1991. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome: FAO. 45p.
- Stone, L. F. & P. M. Silveira. 1995. Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação. CNPAF - Embrapa. 49p. (Documento, 55).