

## ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA PARA REGIÃO DE ITUPORANGA-SC

Leonardo de Oliveira Neves<sup>1</sup>; Evandro Chaves de Oliveira<sup>2</sup>, João Celio de Araújo<sup>3</sup>; Marcos Antônio Vanderlei Silva<sup>4</sup>; Leonardo José Gonçalves Aguiar<sup>5</sup>, Paulo Henrique Gonçalves<sup>6</sup>; Rose Ane Pereira de Freitas<sup>7</sup>; Mauricio Paulo Rodrigues<sup>8</sup>; Júlio Marcos Catoni<sup>9</sup>; Marieli Eliza da Silva<sup>10</sup>.

<sup>1</sup> Meteorologista, Professor, Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul (IFC). Fone: (0xx47) 3531-3700, [ds\\_neves@hotmail.com](mailto:ds_neves@hotmail.com)

<sup>2</sup> Meteorologista, Professor, Instituto Federal do Espírito Santo, IFES, Campus Itapina – ES, [evandro.oliveira@ifes.edu.br](mailto:evandro.oliveira@ifes.edu.br)

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Professor, Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul (IFC) – [joaoceilio@ifc-riodosul.edu.br](mailto:joaoceilio@ifc-riodosul.edu.br)

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, UNEB, Barreiras – BA, [maavsilva@uneb.br](mailto:maavsilva@uneb.br)

<sup>5</sup> Matemático, Doutorando em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – (UFV), [veraneiro@hotmail.com](mailto:veraneiro@hotmail.com)

<sup>6</sup> Meteorologista, Doutorando em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – (UFV), [paulociclone@yahoo.com](mailto:paulociclone@yahoo.com)

<sup>7</sup> Meteorologista - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), [rffreitas78@hotmail.com](mailto:rffreitas78@hotmail.com)

<sup>8</sup> Graduando em Física – Universidade Federal de Viçosa – (UFV), [rodrigues.mp@hotmail.com](mailto:rodrigues.mp@hotmail.com)

<sup>9</sup> Graduando em Agronomia – Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul (IFC) – Bolsista PET, [julioatoni@hotmail.com](mailto:julioatoni@hotmail.com)

<sup>10</sup> Graduanda em Agronomia – Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul (IFC) – Bolsista PET, [marieli.eliza@hotmail.com](mailto:marieli.eliza@hotmail.com)

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia  
18 a 21 de julho de 2011

**RESUMO:** O objetivo desse trabalho foi analisar o desempenho de sete métodos empíricos para estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), e comparar com método padrão Penman-Monteith FAO-56, para as condições climáticas do município de Ituporanga, SC, Brasil. Foram utilizadas as variáveis climáticas referentes ao ano de 2009, obtidas pela estação automática do INMET. Para avaliar o desempenho dos métodos empíricos em estimar a ET<sub>o</sub> foram considerados os seguintes testes estatísticos: o coeficiente de correlação “r” e o índice de concordância de Wilmott “d”. Todos os métodos apresentam altos índices de correlação “r” e índice de concordância “d”, para as condições climáticas de onde se realizou o trabalho, exceto para o método Makkink que ficou ligeiramente abaixo dos outros métodos utilizados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração de referência, FAO-56.

### ESTIMATED DAILY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE REGION OF ITUPORANGA-SC

**ABSTRACT:** The aim of this study was to analyze the seven empirical methods to estimate reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) and compare with the Penman-Monteith FAO-56 considered as the standard method for the climatic conditions in the city of Ituporanga, SC, Brazil. We used climatic variables for the year 2009, obtained by the automatic station INMET. To evaluate the performance of empirical methods to estimate ET<sub>o</sub> considered the following statistical tests: the correlation coefficient “r” and the agreement index of Willmott “d”. All methods show high correlation index “r” and agreement index of Willmott “d” to the weather conditions where the work was done, except for the method Makkink which was slightly below the other methods.

**KEYWORDS:** Reference evapotranspiration, FAO-56.

**INTRODUÇÃO:** Estudos quantificando o consumo hídrico das plantas vêm se tornando de extrema importância para estudos relacionados ao manejo de irrigação. Segundo SILVA et al., (2011) o manejo da irrigação requer, além de métodos e tecnologia adequada, estudos específicos de consumo de água para cada cultura em épocas, locais e estádios de desenvolvimento distintos. A estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é variável

básica para se determinar a lâmina de água a ser aplicada sobre a cultura. Segundo Sedyama (1996) o método padrão para cálculo da ETo é o de Penman-Monteith-FAO56, pois apresenta maior precisão em relação aos outros métodos, devido à maior utilização de variáveis meteorológicas. O objetivo desse trabalho foi analisar o desempenho de sete métodos empíricos para estimar a evapotranspiração de referência, e comparar com o método padrão Penman-Monteith FAO-56 para as condições climáticas do município de Ituporanga, na região do Alto Vale do Itajaí do Estado de Santa Catarina.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** Os dados meteorológicos foram obtidos em uma Estação Meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no município de Ituporanga (-27° 24' 52" S; -49° 36' 09" O; altitude de 360 m), localizada na região do Alto Vale do Itajaí, no Estado de Santa Catarina. Para o cálculo da ETo foi utilizado o software REF-ET (Reference Evapotranspiration Calculator) (Allen, 2000). Foram utilizados os seguintes métodos para estimativa da ETo: Penman-Monteith (56PM) método padrão, Penman 63 (48PM), FAO-Penman corrigido (24PM), FAO-Radiação (24RD), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Hargreaves e Samani (Harg), Priestley-Taylor (Tylr) e Makkink (Makk). Na tabela 1 está apresentada as equações referentes a cada método utilizado para estimar a ETo, o método padrão Penman-Monteith - 56, é descrito no Boletim 56 da FAO.

**Tabela 1.** Equações utilizadas para estimativa da ETo.

Método	Equação
<b>Penman-Monteith (56PM)</b>	$ET_o = \frac{0.408s(Rn - G) + \gamma \left( \frac{900}{T_{med} + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0.34U_2)}$
<b>Penman 63 (48PM)</b>	$ET_o = \left( Rn \frac{S}{S + \gamma} \right) + \left( \frac{\gamma}{S + \gamma} \right) Ea$
<b>FAO-Penman corrigido (24Pn)</b>	$ET_o = -0,3 + CWRs$
<b>FAO-Radiação (24Rd)</b>	$ET_o = c [W.Rn + (1 - w).f(U).(e_s - e_a)]$
<b>FAO-Blaney-Criddle (24BC)</b>	$ET_o = c [p(0,46.T_{med} + 8)]$
<b>Hargreaves e Samani (Harg)</b>	$ET_o = 0,0023(T_{max} - T_{min})^{0,5} .(T_{med} + 17,8)Ra$
<b>Priestley-Taylor (Tylr)</b>	$ET_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (Rn + G)$
<b>Makkink (Makk)</b>	$ET_o = RS \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) + 0,12$

ETo= evapotranspiração de referência em mm/dia;  $\alpha$ = fator de ajustamento ao termo advectivo (varia entre 1,26 a 1,35);  $\Delta$ = declividade da curva de saturação de vapor;  $\gamma$ = coeficiente psicrométrico; **Rn**= saldo de radiação; G= fluxo do calor do solo; **RS**= radiação solar convertida em unidades de água evaporada, mm; **e**= pressão de saturação; **ea**= pressão atual de vapor;  $(S/S+\gamma)$ = função da temperatura do ar e do coeficiente psicrométrico; **Ea**= termo aerodinâmico; **Tmax**= temperatura máxima; **Tmin**= Temperatura mínima; **Tmed**= Temperatura média; **Ra**= radiação extraterrestre; **U<sub>2</sub>**= velocidade do vento a 2,0m; **C**= fator de calibração dependente da umidade relativa do ar e da velocidade média do vento; **W**= fator de ponderação, que varia em função da temperatura do ar e do coeficiente psicrométrico; **Rs**= Radiação solar global; **c**= fator de correção que depende do valor mínimo da umidade relativa diária, horas de brilho solar e da velocidade do vento; e **p**= porcentagem de horas de luz solar real em relação ao total anual para um dado mês e latitude.

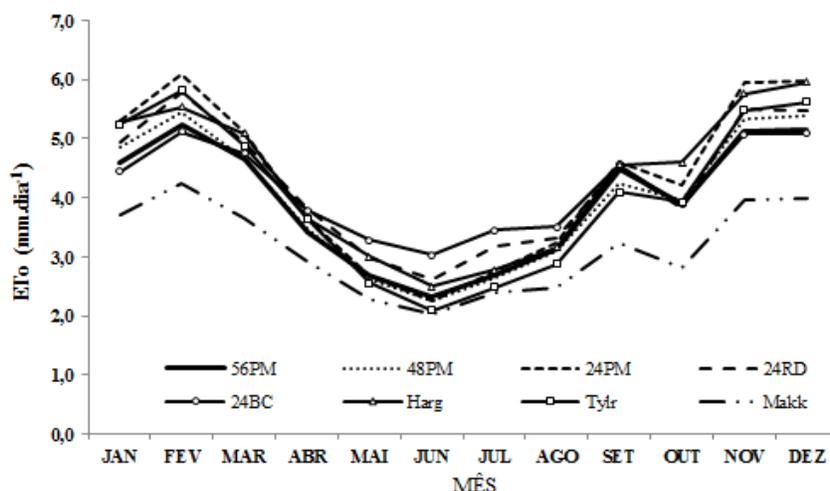
O desempenho dos modelos empíricos aplicados para estimar a ETo, foram avaliados estatisticamente por meio da utilização de dois testes estatísticos: **precisão** - Coeficiente de Correção (r), e **exatidão** - Índice de Concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al., 1985).

Os valores de coeficientes de correlação encontrados foram classificados seguindo a metodologia de Hopkins (2009) (tabela 2).

**Tabela 1.** Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação

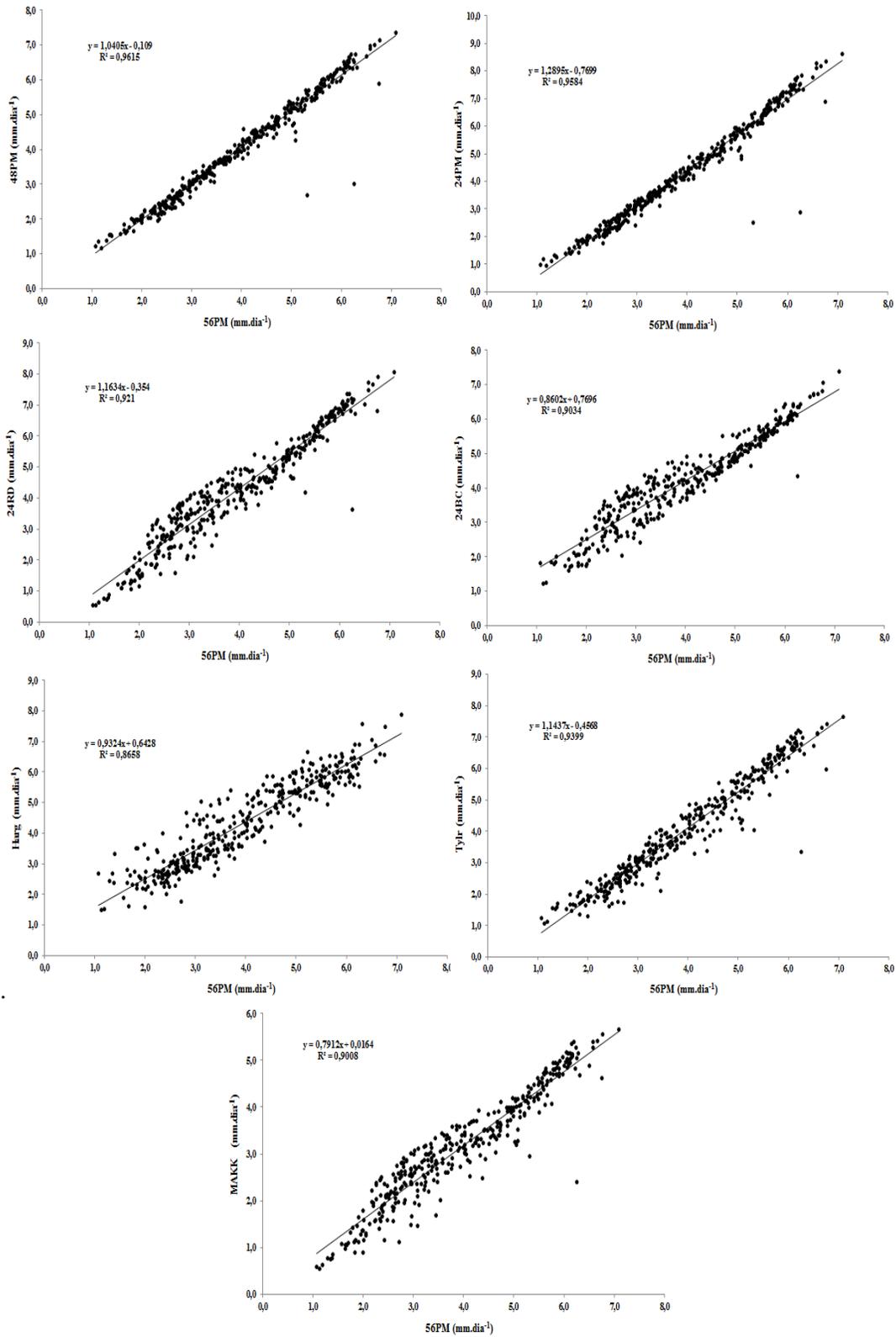
Coeficiente de correlação “r”	Correlação
0 – 0,01	Muito Baixa
0,1 – 0,3	Baixa
0,3 – 0,5	Moderada
0,5 – 0,7	Alta
0,7 – 0,9	Muito Alta
0,9 – 1,0	Quase perfeita

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A variação da ETo estimada pelos métodos estudados, ao longo do ano, para a localidade de Ituporanga-SC está ilustrada na Figura 1. Pode ser observado que todos os métodos de estimativa de ETo apresentaram uma mesma tendência ao longo do ano, com valores mais altos no período referente ao verão (dezembro-março), e os valores mais baixos no meses de inverno (junho-setembro).



**Figura 1.** Média mensal da evapotranspiração de referência (ETo), em  $\text{mm.dia}^{-1}$ , estimados segundo o método de 56PM, 48PM, 24PM, 24RD, 24BC, Harg, Tylr e Makk, para o município de Ituporanga-SC, para o ano de 2009.

A figura 2 ilustra as regressões lineares entre o método padrão 56PM e os outros métodos utilizados para estimar a evapotranspiração de referência. O coeficiente de declividade da regressão linear entre o método padrão 56PM e os todos os outros métodos analisados foram próximos de 1,0 (um), apresentando uma excelente precisão.



**Figura 2.** Regressão linear entre valores diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), em mm.day<sup>-1</sup>, estimados segundo o método de 56PM, em relação ao método de 48PM, 24 PM, 24RD, 24BC, Harg, Tylr e Makk, para a cidade de Ituporanga-SC, para o ano de 2009.

Na tabela 2 apresenta os resultados da análise estatística dos valores diários de ETo calculada pelos métodos de estimativa 48PM, 24PM, 24RD, 24BC, Harg, Tylr e Makk, comparados com o método de Penman-Monteith (56PM). Todos os métodos apresentaram altos índices de precisão “r” e exatidão “d” na escala diária, exceto o método de Makking (Makk) que apresentou um índice de concordância de 0,87, abaixo dos outros métodos que ficaram acima de 0,90.

**Tabela 2.** Resultados da análise estatística dos valores diários de evapotranspiração de referência calculada pelos métodos de estimativa 48PM, 24PM, 24RD, 24BC, Harg, Tylr Makk, comparados com o método de Penman-Monteith (56PM).

MÉTODO	Média (mm.dia <sup>-1</sup> )	d	r	Desempenho
<b>56PM</b>	3,94			
<b>48PM</b>	3,99	0,98	0,98	Quase perfeita
<b>24PM</b>	4,31	0,95	0,97	Quase perfeita
<b>24RD</b>	4,23	0,96	0,95	Quase perfeita
<b>24BC</b>	4,16	0,96	0,95	Quase perfeita
<b>HARG</b>	4,31	0,94	0,93	Quase perfeita
<b>TYLR</b>	4,05	0,97	0,96	Quase perfeita
<b>MAKK</b>	3,13	0,87	0,94	Quase perfeita

**CONCLUSÕES:** Todos os métodos utilizados para estimar a evapotranspiração de referência apresentaram um desempenho quase perfeito, exceto o método de Makkink, que apresentou um índice de determinação “d” abaixo, comparado com os outros métodos. Assim, para estimativa da evapotranspiração de referência para a localidade de Ituporanga-SC, caso não se tenha todas as variáveis necessárias para utilização do método FAO-56, poderá ser utilizado qualquer método analisado nesse estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. REF-ET Reference Evapotranspiration Software. Kimberly:University of Idaho 2000. Disponível em: <http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/>. Acesso em 14 de abril de 2009.
- HOPKINS, W.G. Correlation Coefficient, 2009. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso: 10 ago. 2010.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.i-xii, 1996.
- SILVA. V.J.; CARVALHO, H.P.; DA SILVA, C.R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R.E.F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2011.
- WILLMOTT, C. J.; AKLESON, G. S.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.;KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ODonnell, J.; ROWE, C. M. Statistic for the evaluation and comparison of models. **Jounal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.