

## COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PENMAN-PICHE COM O MÉTODO PENMAN-MONTEITH PARA A REGIÃO DE UBERABA-MG

André Luís Teixeira Fernandes<sup>2</sup>; Eusímio Felisbino Fraga Júnior<sup>3</sup>; Bruno Yudi Takay<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Trabalho financiado, em parte, pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/Café e com o apoio da Universidade de Uberaba/UNIUBE;

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Ms. Irrigação e Drenagem, Dr. Engenharia de Água e Solo, Professor e Pesquisador – Universidade de Uberaba e Faculdades Associadas de Uberaba, Av. Nenê Sabino, 1801 – Bloco M, CEP 38055 - 500, Uberaba, MG. Fone: (0xx34) 3319 8963, Fax: (0xx34) 3314-8910. E-mail: andre.fernandes@uniube.br

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia, Faculdades Associadas de Uberaba/FAZU, Bolsista de IC do CNPq, eusimio@hotmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Syngenta Agrícola, bruno@takay.com.br

**RESUMO:** A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. O presente trabalho teve como objetivo realizar a comparação do método de determinação da evapotranspiração de referência, Penman-Piche (PP), com o método de Penman-Monteith (PM) considerado padrão pela FAO. Analisou-se o período de janeiro de 2003 a dezembro de 2008, trabalhando-se com dados diários de temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento, coletados em uma estação meteorológica automatizada, sendo a evaporação medida pelo evaporímetro de Piche (Epi), ambos instalados na Fazenda Experimental da Universidade de Uberaba – MG. Para a comparação dos métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (PM e PP), foram utilizados: coeficientes de correlação (r), coeficiente de concordância de Willmott (Willmott, 1981) (d) e o coeficiente de confiança (c), que é o produto entre r e d, proposto por Camargo; Sentelhas (1997). Conclui-se no trabalho que é possível estimar a evapotranspiração de referência de maneira satisfatória, através da evaporação medida pelo evaporímetro de Piche. Nos meses de baixa umidade relativa do ar, o evaporímetro de Piche apresenta redução na precisão, por estar diretamente ligado a essa variável.

**Palavras-chave:** evaporímetro, manejo da irrigação, estimativa da evapotranspiração

## COMPARISON BETWEEN THE METHOD OF DETERMINATION OF THE EVAPOTRANSPIRATION OF REFERENCE PENMAN-PICHE WITH METHOD PENMAN-MONTEITH FOR THE UBERABA-MG REGION<sup>1</sup>

**ABSTRACT:** The determination of the amount of water needed for crops is a important parameter for proper planning, design and management of irrigation system. The present work had as objective to carry through the comparison of the method of determination of the evapotranspiration of reference, Penman-Tar (PP), with the method of Penman-Monteith (PM) considered standard for the FAO. The period of January of 2003 was analyzed the December of 2008, working with daily data of temperature of air, solar radiation, relative humidity, speed of the wind, collected in an automatized meteorological station, being the evaporation measured for evaporímetro of Tar (Epi), both installed in the Experimental Farm of the University of Uberaba - MG. For the comparison of the methods of estimate of evapotranspiration of reference (p.m. and PP), they had been used: coefficients of correlation (r), coefficient of agreement of Willmott (Willmott, 1981) (d) and coeficinete reliable (c), that is the product between r and d, considered for Camargo; Sentelhas (1997). It is concluded in the work that is possible esteem the evapotranspiration of reference in satisfactory way, through the evaporation measured for evaporímetro of Tar. In the months of low relative humidity of air, evaporímetro of Tar presents reduction in the precision, for being directly on to this 0 variable.

**Keys works:** evaporimeter, irrigation, empiricist

### INTRODUÇÃO

A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Sua quantificação é realizada fazendo-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na “evapotranspiração” e na precipitação pluviométrica, seus principais componentes (BERNARDO, 1995). O termo evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi definido por Doorenbos; Pruitt (1977) como aquela que ocorre em um extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água.

Apesar da existência de diversos modelos para se estimar a ET<sub>o</sub>, estes 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 (MANTOVANI, 1993). A não-verificação da adequação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência às condições climáticas, a falta de precisão na estimativa, bem como o erro, devido ao uso de instrumentos de medidas inadequados, em geral, também conduzem ao manejo inadequado da água. Esse mal uso pode proporcionar aplicações insuficientes ou em excesso, resultando em perdas e prejuízos consideráveis às plantas e ao solo, diminuindo, dessa forma, a eficiência do uso de irrigação. Na escolha de um método para a determinação da evapotranspiração, devem ser levados em consideração, dentre outros fatores, a praticidade e a precisão (BERLATO;MOLION, 1981). Apesar de esses métodos teóricos e micrometeorológicos serem baseados em princípios físicos, apresentam limitações, principalmente quanto à instrumentação, o que pode restringir a utilização. Dentro deste contexto, este trabalho teve por objetivo comparar o método de determinação da evapotranspiração de referência, Penman Piche, com o método de Penman-Monteith e propor equações de regressão para cada período do ano.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado e conduzido em Uberaba, região do Triângulo Mineiro do Estado de Minas Gerais, cuja latitude é de 19° 44' 13" S, longitude de 47° 57' 27" W e altitude de 850 m, localizado na Fazenda Experimental da Universidade de Uberaba, Fazenda Escola. A área experimental estava localizada no centro de uma área de 20 m<sup>2</sup>, cultivada com grama, circundada por uma área de 22,6 ha de café. O clima de Uberaba segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical quente úmido, com inverno frio (15/16° C) e seco. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.474 mm e 22,6° C, respectivamente. As condições climáticas se enquadram na classificação de irrigação suplementar/complementar. Os dados diários de temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento, foram coletados a partir de uma estação agrometeorológica automática, da marca METOS, modelo Micrometos 300, que possibilitou a estimativa da evapotranspiração pelo Método de Penman Monteith, conforme descrito e parametrizado no Boletim da FAO nº 56 (ALLEN et al., 1998). A estação meteorológica automática tem dimensões reduzidas (27 cm de comprimento x 11,5 cm de diâmetro) no centro da estrutura. As variáveis monitoradas foram registradas automaticamente a partir do sensor infravermelho, que estabelecia o contato entre a estação e um microcomputador portátil. A medida diária de evaporação foi realizada com o auxílio de um evaporímetro de Piche instalado dentro de um abrigo situado na mesma área em que a estação agrometeorológica está instalada. A superfície evaporante ficou situada a 1,5 m acima da superfície do solo, fixado na parede interna da instalação. O evaporímetro é um tubo de vidro que possui comprimento de 350 mm; um diâmetro externo de 15 mm; escala em 300 divisões que corresponde à décimo de milímetro de altura de água evaporada; o diâmetro do disco de papel tem aproximadamente 30 mm. O tubo é cheio de água destilada, sendo fechado com o papel de água dentro do tubo. Medidas consecutivas permitem calcular a evaporação em mm no período desejado, um dia no caso específico deste trabalho. O método Penman Monteith é também chamado de combinado, pois associa os efeitos de balanço de energia com o poder evaporante do ar. O método de Penman Piche é simplificado onde o poder evaporante é obtido a partir de um evaporímetro de Piche. A análise da ETo, foi realizada com o propósito de se avaliar os dados do evaporímetro de Piche em relação aos valores obtidos com a equação de Penman-Monteith-FAO. Além desse aspecto, procurou-se identificar uma equação que se ajustasse melhor ao modelo de Penman-Monteith-FAO e que fosse de utilização mais simples, como é o caso das equações que dependem somente de temperatura do ar, evaporação e insolação. Para a análise dos dados foram utilizados: a) coeficiente de correlação (r), coeficiente de concordância de Willmott (WILLMOTT, 1981) (d) e o coeficiente de confiança (c), que é o produto entre r e d, proposto por Camargo; Sentelhas (1997). Na Tab. 1, são apresentados os valores do índice "c" e sua classificação e na Tab. 2 a classificação para "r", seguindo a metodologia de HOPKINS (2000).

**Tabela 1.** Classificação do índice de confiança (c) proposto por CAMARGO; SENTELHAS (1997).

Coeficiente de confiança (c)	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,40	Péssimo

FONTE: CAMARGO; SENTELHAS (1997).

A análise da evapotranspiração de referência (ETo), foi realizada com o propósito de se avaliar os dados do evaporímetro de Piche em relação aos valores obtidos com a equação de Penman-Monteith-FAO. Além desse aspecto, procurou-se identificar uma equação que se ajustasse melhor ao modelo de Penman-Monteith-FAO e que fosse de utilização mais simples, como é o caso das equações que dependem somente de temperatura do ar, evaporação e insolação.

**Tabela 2.** Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação segundo metodologia HOPKINS (2000).

Coeficiente de correlação (r)	Desempenho
0,0 – 0,1	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

FONTE: HOPKINS (2000).

Finalmente, com base nos resultados obtidos pelas equações de Penman-Piche, propôs-se um ajuste, visando a melhoria da precisão e, principalmente, da exatidão desses métodos em relação à equação de Penman-Monteith-FAO, para a condição deste estudo. Para a comparação, inicialmente os dados foram analisados por mês, individualmente, em seguida a média dos meses, nos anos avaliados e, por último, para as estações do ano.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os dados de evapotranspiração obtidos por ambos os métodos, durante o período analisado.

**Tabela 3.** Valores médios mensais da  $ET_0$ , em mm dia<sup>-1</sup>, avaliados no período de 2003 a 2008.

\*\*Nos meses citados não há dados correspondentes devido a manutenção dos aparelhos de coleta.

Meses	$ET_0 - PM$ (Penman-Monteith) / $ET_0 - PP$ (Penman-Piche)											
	2003		2004		2005		2006		2007		2008	
	PM	PP	PM	PP	PM	PP	PM	PP	PM	PP	PM	PP
JAN	3,14	3,00	3,21	3,31	2,80	3,39	2,50	2,98	2,73	3,19	3,04	3,24
FEV	4,10	3,42	3,80	3,26	**	**	3,12	3,61	4,06	4,38	3,10	3,20
MAR	3,09	2,90	4,47	4,29	3,13	3,61	3,14	3,57	4,34	4,59	3,26	3,60
ABR	2,60	2,44	3,57	3,48	3,46	3,97	3,28	3,71	3,73	3,95	3,11	3,17
MAI	3,68	3,17	3,04	2,98	3,04	3,35	3,29	3,64	3,25	3,50	2,97	3,17
JUN	3,90	3,32	3,31	3,15	2,92	3,25	**	**	3,60	3,95	3,08	3,23
JUL	4,51	3,43	3,84	3,41	3,05	3,42	3,71	3,93	3,28	3,26	3,92	3,74
AGO	4,51	3,61	5,25	4,33	4,12	4,38	4,21	4,29	4,95	4,77	4,23	4,23
SET	5,27	4,19	6,36	5,34	3,40	3,48	3,93	3,99	5,55	2,08	4,62	1,89
OUT	4,43	3,73	4,61	4,20	4,32	4,26	3,10	3,52	4,85	4,69	3,86	4,03
NOV	3,91	3,66	4,14	4,02	3,35	3,87	3,28	3,70	3,69	3,49	3,50	3,76
DEZ	4,43	4,06	3,45	3,76	2,93	3,40	3,27	3,79	3,58	3,94	3,60	3,73

Na Tab. 4, constam os valores de dispersão dos dados para os dois métodos de estimativa de evapotranspiração (coeficiente de correlação “r”), para região de Uberaba, nos período de 2003 a 2008, ressaltando que para o mês de janeiro, verificamos a melhor correlação entre métodos, com  $R^2 = 0,96$ . Já no mês de junho, observou-se a correlação mais baixa do ano, no período analisado, com  $R^2 = 0,695$ .

Ferreira (1972), avaliando métodos de estimativa da  $ET_0$  para Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto, estado de São Paulo, observou que os valores médios da  $ET_0$  obtidos pelo evaporímetro de Piche apresentaram ajuste satisfatórios em relação ao método de PM, comportamentos esses semelhantes aos obtidos neste trabalho. Na Tab. 3, estão apresentados valores médios dos anos de 2003 à 2008 dos coeficientes de correlação, entre o método padrão PM e o PP. O coeficiente de correlação foi obtido comparando-se duas variáveis, ou seja, os dados diários de PM e PP. Uma correlação perfeita seria obter  $r=1$ , no presente trabalho foram obtidas correlações muito próximas do ideal, como no mês de abril e novembro, que apresentaram respectivamente 0,90 e 0,95.

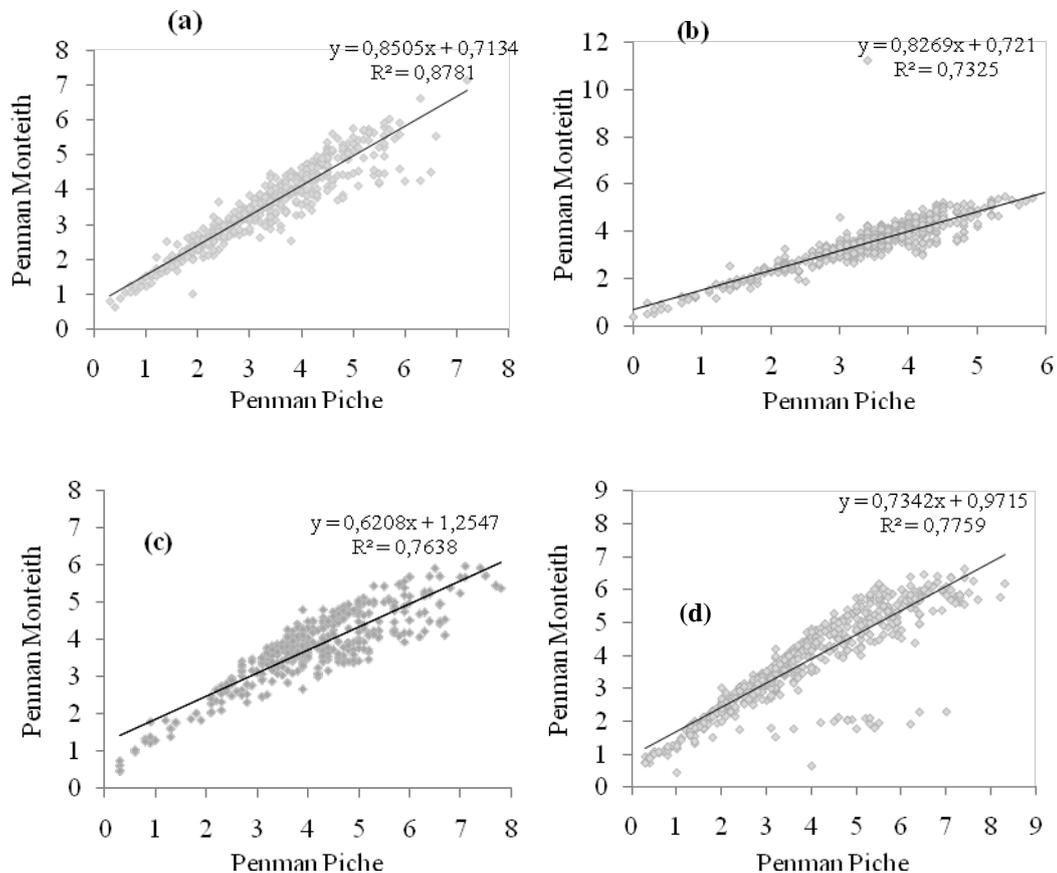
Observa-se que as melhores correlações foram obtidas nos meses de janeiro, março, abril, maio, outubro, novembro e dezembro, com coeficientes acima de 0,90. Pode se observar também, que o coeficiente de exatidão, ficou

acima de 0,90, exceto para os meses de junho, julho, agosto e setembro meses que apresentaram o “d” entre 0,73 e 0,85. Os meses que apresentaram baixo índice de exatidão também apresentaram a mais baixa classificação de confiança.

**Tabela 4.** Valores dos coeficientes de correlação “ $r^2$ ”, de exatidão “d” e de confiança “c” e da classificação do desempenho dos diferentes métodos usados para a estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ).

	$r^2$	d	c	Desempenho
Janeiro	0,955	0,95	0,91	Ótimo
Fevereiro	0,835	0,90	0,75	Bom
Março	0,951	0,96	0,91	Ótimo
Abril	0,900	0,94	0,85	Ótimo
Mai	0,912	0,94	0,86	Ótimo
Junho	0,695	0,77	0,54	Sofrível
Julho	0,900	0,81	0,73	Bom
Agosto	0,777	0,85	0,66	Bom
Setembro	0,697	0,73	0,51	Sofrível
Outubro	0,925	0,96	0,89	Ótimo
Novembro	0,950	0,97	0,92	Ótimo
Dezembro	0,930	0,94	0,88	Ótimo

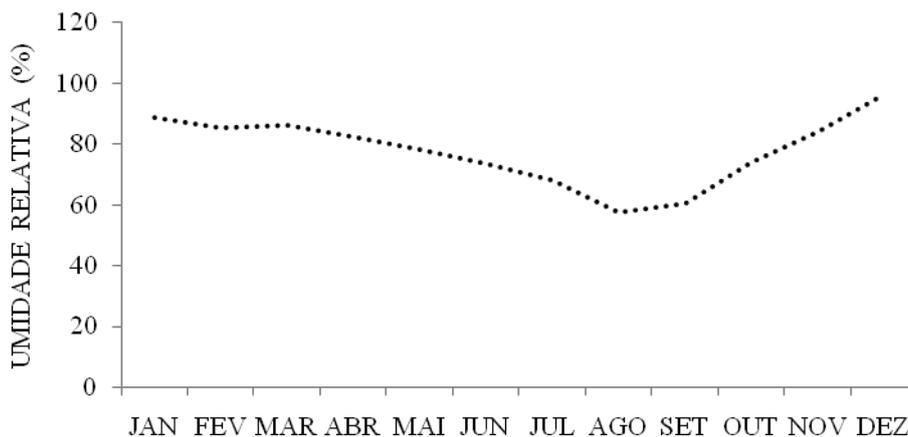
No Figura 1, são apresentados os coeficientes de correlação agrupados em estações do ano. Tal formatação permite uma análise mais coerente sobre as variações em que o evaporímetro de Piche sofre no decorrer do ano.



**Figura 1.** Regressão linear em  $\text{mm dia}^{-1}$ , estimados segundo o método de PM, em relação ao método de PP, para a região de Uberaba-MG; (a) verão; (b) outono; (c) inverno e (d) primavera.

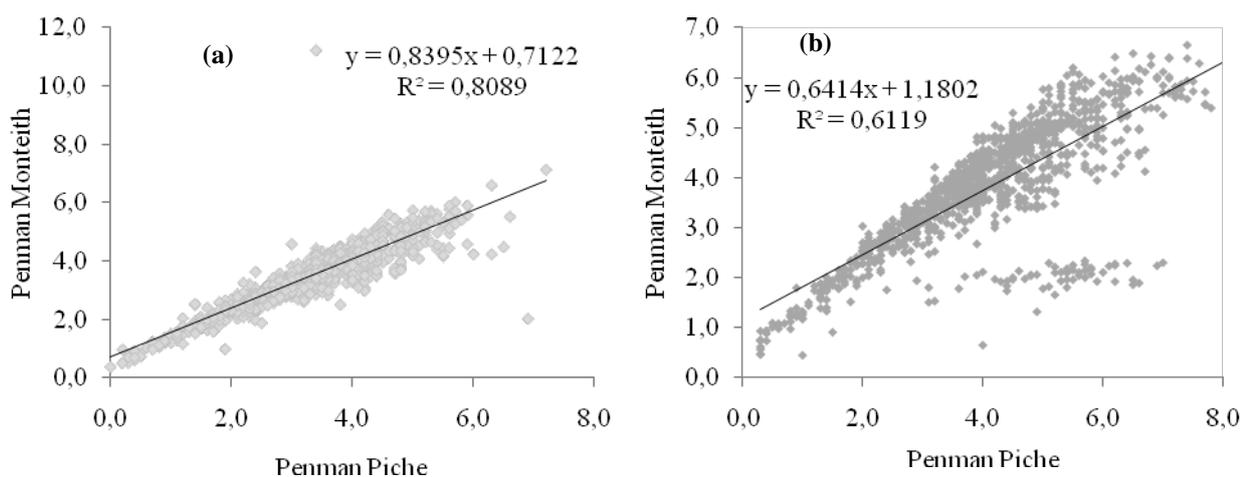
Pelas altas correlações obtidas ( $> 0,73$ ) nas estações do ano, pode-se recomendar que os produtores rurais utilizem, para cada estação específica, as equações propostas (Figura 1) para a estimativa da evapotranspiração de referência, pela facilidade que terão para este procedimento. Apenas com os dados medidos no evaporímetro de Piche, podem estimar, com relativa precisão, a evapotranspiração. Convém salientar também o custo deste equipamento (Piche), em torno 100 vezes inferior a uma estação agrometeorológica automática.

Observa-se uma queda de precisão ao correlacionarmos os métodos, a medida que inicia-se a estação de inverno. Conclusões semelhantes foram apresentadas por Duarte, Barros, Assunção (2003), que afirmam que a probabilidade do ambiente contribui para a diferenciação da evapotranspiração durante as estações do ano. Esse fato deve-se ao teor de umidade do ar, radiação disponível, à temperatura ambiente e a intensidade dos ventos. Por outro lado, no evaporímetro de Piche, que se localiza dentro de um abrigo, tais fatores são insignificantes, pois quem passa a comandar a evaporação de forma mais intensa é a capacidade (maior ou menor) do ar ambiente em absorver vapor d'água, sendo que a variável determinante seria a umidade relativa do ar, conforme a Figura 2.



**Figura 2.** Média da variação da umidade relativa do ar (%) ao longo de um ano (2003-2008).

Na Figura 3, correlacionaram-se os dados agrupando-se as estações em dois grupos: Verão-Outono e Inverno-Primavera. Verificou-se uma baixa correlação no período Inverno-Primavera, período este influenciado pela ação da umidade relativa do ar (UR%), conforme a Figura 2. Vescove; Turco (2005), comparando o método de estimativa de ETo, por Penman Monteith e pelo método do Tanque Classe A, obtiveram correlações semelhantes ao agrupar as estações do ano, sendo que em suas medições o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para verão-outono de 0,83 e para inverno-primavera 0,62.



**Figura 3.** Regressão linear em  $\text{mm dia}^{-1}$ , estimados segundo o método de PM, em relação ao método de PP, para a região de Uberaba-MG; (a) verão-outono; (b) inverno-primavera.

## CONCLUSÕES

Nas condições de Uberaba, após a realização do presente experimento, pode-se concluir que:

- É possível estimar a evapotranspiração de referência de maneira satisfatória, através da evaporação medida pelo evaporímetro de Piché;
- Nos meses de baixa umidade relativa do ar, o evaporímetro de Piche apresenta uma baixa em sua precisão, por estar diretamente ligado a essa variável;
- O alto número de observações permite maior confiança ao tirar conclusões sobre o conjunto de resultados obtidos neste estudo;
- Pela magnitude dos coeficientes de determinação encontrados pode-se observar que a  $ET_0$  foi estimada de forma satisfatória.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO/Secretaria de Agricultura, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7).
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144p. (Irrigation and Drainage Paper 24).
- DUARTE, W.O.; BARROS, D. L.; ASSUNÇÃO, W. L. Comparação entre as leituras diárias do tanque classe “a” e o evaporímetro de piche, da estação climatológica da UFU. In: II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA “PERSPECTIVAS PARA O CERRADO NO SÉCULO XXI”. Uberlândia-MG, 2003. **Anais**. p6-7.
- FERREIRA, W.A. Utilização da evaporação “piche” na estimativa da evapotranspiração potencial. Botucatu – SP, 1972, **Tese de Doutorado** – UNESP/Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu.
- HOPKINS, W. G. **Correlation Coefficient**. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso em: 04 nov. 2007.
- 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.
- VESCOVE, H.V.; TURCO J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP. Jaboticabal-SP: **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.713-721, set./dez. 2005.
- WILLMOTT, C. J. **On the validation of models**. Physical Geography, New York, v.2, n.2, p. 184-94, 1981.