

## USO DE DISPOSITIVOS LISIMÉTRICOS PARA MEDIDA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

### USAGE OF LYSIMETER DEVICES FOR EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE DETERMINATION

Fabiano Chaves da Silva<sup>1</sup>, Marcos Vinicius Folegatti<sup>2</sup>, Antonio Roberto Pereira<sup>3</sup> e Nilson Augusto Villa Nova<sup>3</sup>

#### RESUMO

O presente trabalho avaliou três diferentes tipos de lisímetros (de pesagem, de drenagem, e lisímetro com lençol freático de nível constante) para a determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Utilizou-se também do modelo de Penman-Monteith, e o tanque classe "A", para se estimar a evapotranspiração no período. Os valores de ET<sub>o</sub> obtidos pelo lisímetro de pesagem (PADRÃO) foram correlacionados com os valores medidos pelos outros dispositivos, e com os estimados. O lisímetro de pesagem apresentou boa correlação com os valores estimados pelo modelo de Penman-Monteith. Tanto o lisímetro de drenagem como lisímetro com lençol freático mostraram-se inviáveis para a determinação de valores diários de ET<sub>o</sub>. A evapotranspiração total no período foi superestimada em 18% pelo lisímetro de drenagem e em 11% pelo lisímetro com lençol freático de nível constante; o método do tanque classe "A" a subestimou em 36%, apresentando baixa correlação com o padrão ( $r^2 = 0,005$ ).

**Palavras-chave:** evapotranspiração, lisímetro, Penman-Monteith, grama.

#### SUMMARY

This work evaluated three kinds of lysimeter, weighing lysimeter, drainage lysimeter and water-table lysimeter. The Penman-Monteith model and the class A pan were also used to obtain the evapotranspiration estimation in the same period. ET<sub>o</sub> values obtained by the weighing lysimeter (pattern) were correlated with estimated values and others lysimeters values. The weighing lysimeter presented a good correlation with the values estimated by the Penman-Monteith model. Both drainage lysimeter and water-table lysimeter

showed to be unfeasible to determine daily values of ET<sub>o</sub>. The total evapotranspiration was overestimated in 18% by the drainage lysimeter and in 11% by the water-table lysimeter during the period considered. The class A pan method underestimated in 36% the total evapotranspiration, showing low correlation with the weighing lysimeter ( $r^2 = 0,005$ ).

**Key words:** evapotranspiration, lysimeters, Penman-Monteith, grass.

#### INTRODUÇÃO

A irrigação destaca-se pela sua importância, dentre os diversos usos dos recursos hídricos. Para a sua realização, a quantificação acurada da água evapotranspirada é fundamental. A evapotranspiração pode ser obtida de diferentes formas, por meio de medidas diretas ou de forma indireta, a partir de fórmulas teóricas baseadas na utilização de dados do solo, dados meteorológicos ou dados de plantas.

A utilização de modelos baseados em dados climáticos ou na comunidade vegetal, implica em sua calibração e adequação para as condições específicas do local onde será empregado. Portanto, a estimativa da evapotranspiração através de medidas diretas, ou seja, pelo uso de lisímetros é necessário. As medidas diretas podem ser mais acuradas, porém são de uso restrito da pesquisa devido ao seu maior custo e às difíceis condições de manejo. Com o avanço tecnológico em sistemas de armazenamento de dados, tornou-se mais econômico e fácil a construção de lisímetros capazes de mensurar dados de evapotranspiração diários.

Segundo HOWELL et al. (1991) os lisímetros utilizados em pesquisas de evapotranspiração (ET) usualmente podem ser agrupados em três categorias:

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, MsC, Doutorando, Bolsista FAPESP, DER/ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba - SP, E-mail: fcdsilva@carpa.ciagri.usp.br

<sup>2</sup>Prof. Assoc., Dr. - DER/ESAL/USP, E-mail:mvfolega@carpa.ciagri.usp.br

<sup>3</sup>Professor Doutor, Dept. Física e Meteorologia, ESALQ, USP, Piracicaba, São Paulo

(1) Não-pesáveis com lençol freático de nível constante; (2) Não-pesáveis com drenagem livre, utilizados em áreas de alta precipitação e (3) Lisímetros pesáveis, onde a variação de massa do sistema é determinada por um mecanismo de pesagem. Além disso, são classificados quanto ao tipo de perfil reconstruído e monolítico e ao sistema de drenagem a vácuo e gravidade. Existem vários tipos de lisímetros, sendo que o tamanho e o projeto de montagem de cada um é baseado no requerimento específico do estudo e das condições de construção e custos envolvidos.

O modelo de lisímetro de drenagem é o mais simples e o de uso mais difundido devido sua simplicidade, porém apresenta restrições para obtenção de dados diários. Um tipo de lisímetro foi proposto por Thornthwaite em 1945 (ASSIS, 1978), denominado evapotranspirômetro. Consistia de um tanque dotado de dispositivos de suprimento e percolação de água com o nível de água mantido constante por meio de um sistema de válvula e bóia. CAMARGO (1966), em três localidades do Estado de São Paulo, durante seis anos descartando o 1º e o 6º ano, comparou evapotranspiração medida em um tipo de evapotranspirômetro de Thornthwaite de percolação modificado, com estimativas segundo as fórmulas de Thornthwaite, Penman-Bavel, Blaney e Criddle e Blaney e Criddle aperfeiçoada e adaptada ao sistema métrico decimal a qual melhorou as correlações entre os valores medidos e estimados.

Segundo HOWELL et al. (1985), lisímetros de pesagem são os mais utilizados em pesquisas para mensurar de forma direta a evapotranspiração em períodos menores do que um dia. Outros métodos como a razão de Bowen e o método de correlação dos turbilhões apresentam bons resultados na mensuração da evapotranspiração a curto prazo. Existem vários mecanismos de pesagem, os mais modernos são as células de carga. A resolução desse sistema vai depender das características da célula de carga e do sistema de armazenamento e processamento de dados.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a resposta de três diferentes dispositivos lisimétricos (lisímetro de drenagem, lisímetro com lençol freático de nível constante e lisímetro de pesagem), na determinação da evapotranspiração de referência para períodos curtos em base diária e de cinco dias.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", situada no município de Piracicaba, Estado de São Paulo (latitude: 22º42'S, longitude: 47º30'W e altitude: 576m.)

A área consistiu de uma faixa de 35 x 90m, com uma área de 3.150m<sup>2</sup>. No local do experimento foi montada uma estação agrometeorológica, que consis-

tiu de uma estação automática para coleta de dados meteorológicos, um Tanque Classe A, dois lisímetros de drenagem, dois lisímetros com lençol freático de nível constante e um lisímetro de pesagem baseado em célula de carga. Tanto os lisímetros como a área vizinha foram vegetados com grama batatais (*Paspalum nonatum flugge*), mantida com uma altura adequada (8-12cm) através de cortes periódicos. Um sistema de irrigação foi instalado, procedendo-se irrigações frequentes, a fim de manter uma umidade do solo ideal, para se obter a evapotranspiração potencial.

Os valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) medidos utilizando-se os lisímetros de pesagem, de drenagem, com lençol freático de nível constante, e estimados pelo modelo de Penman-Monteith e pelo método do tanque classe "A" (ET<sub>o</sub>CA), foram obtidos em base diária para um período de 41 (quarenta e um) dias, entre 21 de fevereiro a 1º de abril de 1996. A avaliação da resposta dos lisímetros de drenagem, com lençol freático de nível constante, do modelo de Penman-Monteith e do método do tanque classe "A" (ET<sub>o</sub>CA), foi realizada através de regressões lineares simples, tomando-se como padrão o lisímetro de pesagem. Utilizou-se também o teste *t*, além de outros indicadores estatísticos, propostos por WILLMOTT (1981): índice *d*, erro sistemático (Es), erro não-sistemático (Eu), raiz quadrada do erro médio (RQEM) e média do erro absoluto (MAE).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das regressões lineares simples do lisímetro de pesagem (variável independente) contra o modelo de Penman-Monteith, lisímetro de drenagem, lisímetro com lençol freático e ET<sub>o</sub>CA, tomando-se os valores em base diária, são apresentados na Tabela 1.

O valor para o *r*<sup>2</sup> foi estatisticamente significativo somente para a primeira regressão, indicando que as estimativas de ET<sub>o</sub> pelo modelo de Penman-Monteith ajustaram-se com razoável precisão aos valores medidos pelo lisímetro de pesagem.

Os baixos coeficientes de determinação para o lisímetro de drenagem (0,10) e para o lisímetro com lençol freático (0,03) podem ser explicado pelo fato desses dispositivos não possuírem sensibilidade para obtenção de valores diários. Contudo ASSIS (1978), trabalhando com lisímetros com lençol freático de nível constante, concluiu que este dispositivo apresenta características suficientes para ser utilizado em estudos de evapotranspiração para uma escala diária.

Na primeira regressão, tendo como variável dependente o modelo de Penman-monteith, o valor do teste *t* rejeitou a hipótese de nulidade do parâmetro da regressão, ao nível de 1%, comprovando-se assim, que o modelo de Penman-Monteith constitui uma boa expressão teórica do processo da evapotranspiração.

Tabela 1. Coeficientes linear (a), angular (b),  $r^2$  e  $t$  calculado para as regressões lineares simples entre os valores diários de evapotranspiração medido pelo lisímetro de pesagem (variável independente) contra os valores diários medidos pelo lisímetro de drenagem, lisímetro com lençol freático, e estimados pelo modelo (Penman-Monteith) e pelo método do tanque classe "A" (EToCA); Índice D, erro sistemático (Es), erro não sistemático (Eu), raiz quadrada do erro médio (RQEM) e o média do erro absoluto (MAE).

Variável dependente	a	b	$r^2$	t	Índice D (Willmot)	Es (mm)	Eu (mm)	RQEM (mm)	MAE (mm)
Penman-Monteith	1,24	0,71	0,79	2,26**	0,90	0,48	0,40	0,62	0,44
Lisímetro de drenagem	2,52	0,35	0,10	2,06*	0,55	0,91	1,19	1,50	1,22
Lisímetro com lençol	2,80	0,19	0,03	1,10	0,46	0,96	1,22	1,55	1,25
EToCA	1,58	0,12	0,01	0,47	0,39	1,46	1,82	2,34	2,00

\* Significativo a 5% de probabilidade.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Utilizando-se a variável dependente, lisímetro de drenagem, o valor do teste  $t$  rejeitou a hipótese de nulidade do parâmetro, apenas para o nível de 5%. No entanto, o coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,10$ ) não foi significativo, indicando não ter havido uma relação linear entre as variáveis relacionadas. Por fim, utilizando-se como variáveis dependentes o lisímetro com lençol freático e EToCA, os valores para os correspondentes testes  $t$  rejeitaram a hipótese da nulidade dos parâmetros a níveis de significância estatística altos, respectivamente, 27% e 63%. Isto pode ser explicado devido ao fato do período de observação, ter sido muito curto e com freqüentes chuvas, o que afeta o princípio de funcionamento destes mecanismos.

O índice D, confirmou os resultados apresentados para os coeficientes de determinação. O modelo de Penman-Monteith apresentou o maior valor para este índice (0,90), confirmando uma melhor concordância entre os valores de ETo medidos e previstos. Os demais dispositivos (lisímetro de drenagem e o lisímetro com lençol) obtiveram valores inferiores à 0,55. Sendo que o tanque classe "A" apresentou o valor de índice D mais baixo e igual a 0,39.

Para o modelo Penman-Monteith os índices de erro sistemático (Es), erro não-sistemático (Eu), raiz quadrada do erro médio (RQEM), e erro médio absoluto (EMA), foram 0,479mm/dia, 0,401mm/dia, 0,624mm/dia e 0,422mm/dia, respectivamente. Para os lisímetros de drenagem, com lençol freático e o tanque classe "A" os índices de erro (Es, Eu, RQEM e EMA), variaram numa faixa entre 1,0 mm/dia a 2,0 mm/dia.

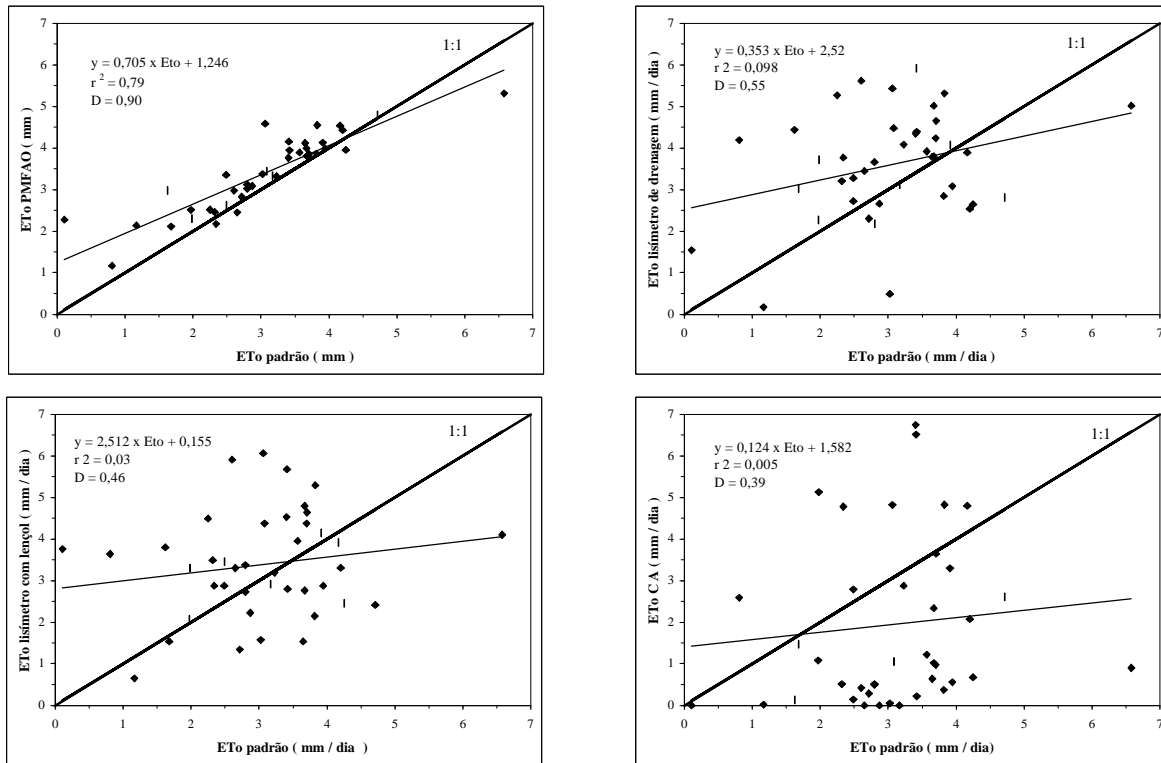
Na Tabela 2 encontram-se a evapotranspiração acumulada no período para o lisímetro de pesagem (124,9mm), lisímetro de drenagem (147,4mm), lisímetro com lençol freático (138,8mm), e para o modelo de Penman-Monteith (139,1mm), e o tanque classe "A" (80,3mm). Observa-se que, em relação ao lisímetro de pesagem, os lisímetros de drenagem com lençol freático, e o modelo de Penman-Monteith superestimaram os valores de evapotranspiração em 18%, 11%, 11,4 %, respectivamente, e o tanque classe "A" subestimou 36 %. A subestimativa da

evapotranspiração obtida pelo tanque classe "A" pode ser explicada pelo uso de coeficientes de tanque ( $K_p$ ), não representativos para as condições locais. PEREIRA et al. (1995), apontam que a estimativa do  $K_p$ , seguindo as recomendações de DOORENBOS & PRUITT (1975), pode ocasionar estimativas incorretas de evapotranspiração, e recomendam outro modelo de estimativa de  $K_p$ .

Na Figura 1 estão as representações gráficas das correlações entre os valores diários medidos pelo lisímetro de pesagem (variável independente) contra as variáveis dependentes (Penman-Monteith, lisímetro de drenagem, lisímetro com lençol e EToCA). Verificou-se a melhor concordância entre os valores para a evapotranspiração estimada pelo modelo de Penman-Monteith. Entretanto o modelo superestimou a evapotranspiração de referência, principalmente nos períodos com baixos valores de evapotranspiração. Este fato pode ser explicado pela utilização nos cálculos de estimativa, coeficientes de resistência à transferência do vapor de água não apropriados para as condições locais. PERES (1994), avaliando o modelo de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, no Estado de São Paulo, verificou que o modelo superestimou a evapotranspiração de referência para as condições de Campinas. Nas outras duas localidades o modelo apresentou uma alta dispersão em relação aos valores medidos em lisímetro.

Tabela 2. Valores de evapotranspiração de referência acumulada (Eto) medidos e estimados durante o período de 21/02/96 a 01/04/96.

Dispositivo e/ou método	Eto média (mm/dia)	Eto acumulada (mm)
Lisímetro de pesagem	3,04	124,9
Lisímetro de drenagem	3,59	147,4
Lisímetro com lençol	3,38	138,8
Penman-Monteith	3,39	139,1
EToCA	1,95	80,3



**Figura 1.** Evapotranspiração de referência diária (ETo) estimada pelo modelo de Penman-Monteith, medida pelo lisímetro de drenagem e com lençol freático, e estimada pelo tanque classe "A" versus a medida pelo lisímetro de pesagem, em relação à reta 1:1.

Utilizando-se uma periodicidade quinqüidária (5 dias), como base de cálculo para valores acumulados, obteve-se uma melhora do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e do índice D para todos os dispositivos e estimativas. No entanto, os coeficientes de concordância (D e  $r^2$ ) continuaram não significativos para os dispositivos lisímetro de drenagem e lisímetro com lençol. Assim, admite-se que a base de cálculo para estes dispositivos deva ser superior a cinco dias. Na Figura 2 estão as representações gráficas das correlações entre os valores medidos pelo lisímetro de pesagem (variável independente) contra as variáveis dependentes (Penman-Monteith, lisímetro de drenagem, lisímetro com lençol e EToCA), tomando-se uma base de cálculo de 5 (cinco) dias. O número reduzido de pontos disponíveis não permite inferências mais detalhadas ficando, no entanto, evidente o amaciamento das flutuações diárias.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho, suportam as seguintes conclusões:

1 - As medidas diárias de evapotranspiração de referência (ETo) obtida pelo lisímetro de pesagem apre-

sentam uma boa concordância com os valores diários estimados pelo modelo de Penman-Monteith.

2 - As estimativas de evapotranspiração, utilizando o lisímetro de drenagem, lisímetro com lençol freático, e o tanque classe "A" apresentam resultados inconsistentes em base diária de cálculo. Reafirmando que esses dispositivos possuem um melhor funcionamento para intervalos acima de cinco dias

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, F. N. de **O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre a evapotranspiração medida e estimada.** Piracicaba, SP : USP, 1978. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP, 1978.
- CAMARGO, A.P. **Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial do estado de São Paulo.** Campinas : Instituto Agrônomo de Campinas, 1966. 56 p. (Circular Técnica, 161).
- DOORENBOS, J., PRUITT, J.O. **Guidlines for predicting crop water requirements.** Rome : FAO, 1975. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

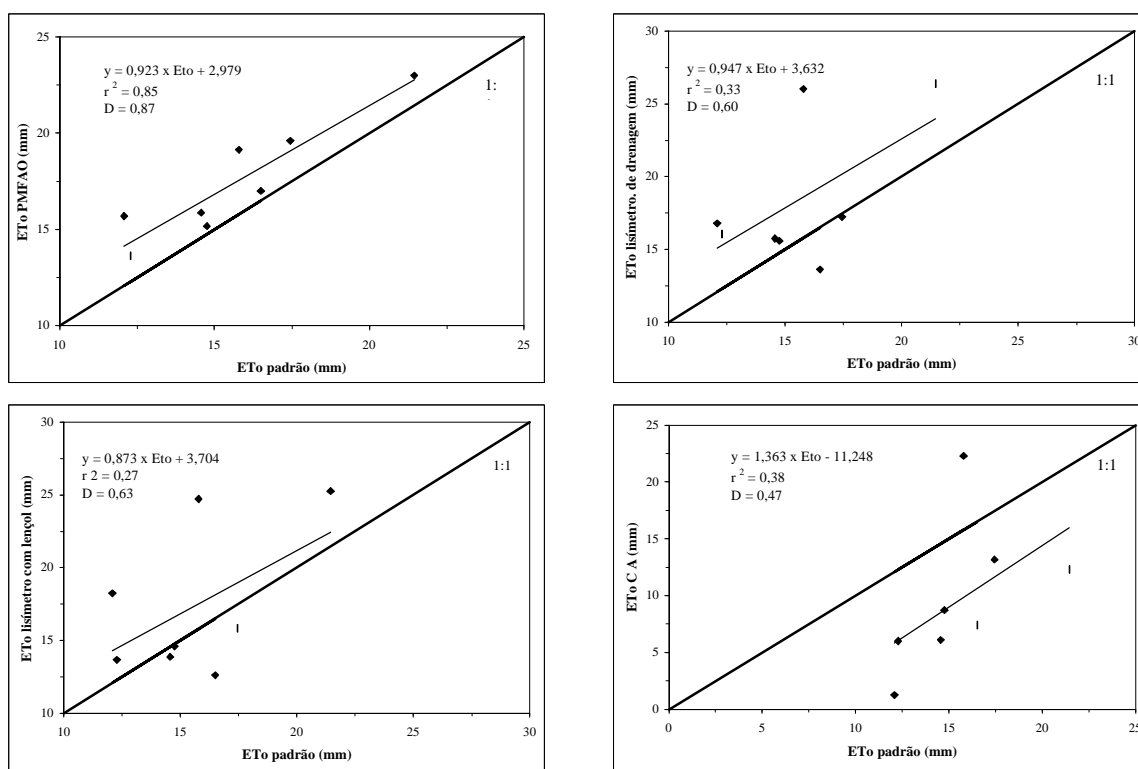


Figura 2. Evapotranspiração de referência quinidária (Eto) estimada pelo modelo de Penman-Monteith, medida pelo lisímetro de drenagem, com lençol freático, e estimada pelo tanque classe "A" versus a medida pelo lisímetro de pesagem, em relação à reta 1:1.

HOWELL, T.A., McCORMICK, R.L., PHENE, C.J. Design and installation of large weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 35, n. 4, p. 106-117, 1985.

HOWELL, T.A., SCHNEIDER, A.D., JENSEN, M.E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration. In: ALLEN, R.G., HOWELL, T.A., PRUITT, W.O., WALTER, I. A., JENSEN, M.E. **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York : ASCE, 1991. p. 1-9.

PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., PEREIRA, A.S., et al. Model for the class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, p. 75-88, 1995.

PERES, J.G. **Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições do estado de São Paulo**. Piracicaba, SP : USP, 1994. 116 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ USP, 1994.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical geography**, Palm Beach (USA), v. 2, n. 2, p. 184-94, 1981.