

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA MEDIDA POR LISÍMETRO DE PESAGEM E ESTIMADA POR PENMAN-MONTEITH (FAO-56) EM ESCALA DECENDIAL

Alailson Venceslau SANTIAGO<sup>1</sup>, Antonio Roberto PEREIRA<sup>2</sup>, Selma Regina MAGGIOTTO<sup>3</sup>, Marcos Vinicius FOLEGATTI<sup>4</sup>

## INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos estão cada vez mais escassos havendo iminente competição entre seu uso direto no cotidiano urbano e sua aplicação agrícola para gerar alimentos em áreas e épocas com deficiência de chuvas. Diante disso, tornou-se necessário o planejamento mais eficaz do aproveitamento da água na produção agrícola, com desenvolvimento de metodologias que permitam estimar volumes cada vez mais exatos de água necessária para obtenção de ótimas produções dos cultivos. No entanto, um ponto crucial é a quantificação correta da evapotranspiração destes sistemas.

Baseados no trabalho de ALLEN et al. (1989), um painel de especialistas da FAO (ALLEN et al., 1998) recomendou a adoção do modelo de Penman-Monteith como padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), mesmo para locais com deficiência de dados meteorológicos necessários ao seu uso, fornecendo procedimentos e parametrizações adequadas a diversas escalas de tempo. Aquele comitê solicitou ainda que se fizessem testes em outras regiões para verificar a adequação de sua proposta.

No Brasil, tal solicitação foi parcialmente atendida visto que são inúmeros os testes realizados em nossas condições tropicais, mas apenas na escala diária de medida e estimativa (PEREIRA, 1998; SENTELHAS et al., 1998; SOUZA et al., 1998). Contudo, foi encontrado apenas o relato de PERES et al. (1995) em que foram utilizadas as escalas decendial e mensal de estimativa de ET<sub>o</sub> pelo método de Penman-Monteith, contudo, utilizando medidas de lisímetros de drenagem.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo estudar o desempenho do modelo de Penman-Monteith, seguindo as parametrizações propostas pelo boletim FAO-56 para estimativa da ET<sub>o</sub> em escala decendial, comparando-as com medidas em lisímetro de pesagem automática.

## MATERIAL E MÉTODOS

As medidas a campo foram realizadas durante 1996 numa área de 3150 m<sup>2</sup> (35 x 90 m), da Fazenda Areão, ESALQ/USP, em Piracicaba, SP (22° 42' S; 47° 30' W; 546 m de altitude média). O solo foi classificado como Terra Roxa Estruturada (Alfisol), com declividade média de 2,3%, e vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé) mantida com altura média de 0,12 m por meio de cortes para simular as condições de superfície de referência. A ET<sub>o</sub> foi medida com um

lisímetro de pesagem (1,20 x 0,85 x 0,65 m), descrito em SILVA et al. (1999), com três células de carga em forma de S (Omega Engineering, model LCCA-2K), e o sinal armazenado por um datalogger (CR10, Campbell Scientific, Inc.). Os valores obtidos a cada segundo geravam médias a cada 30 min, como sugerido por BERGAMASCHI et al. (1997), amaciando-se as variações instantâneas causadas por abalos impostos pelo atrito do vento com a vegetação.

Os elementos meteorológicos necessários para a estimativa de ET<sub>o</sub> (i.e., saldo de radiação, temperatura e umidade do ar, e velocidade do vento) foram coletados por uma estação automatizada instalada na área experimental. Os sensores foram conectados a um datalogger (CR10, Campbell Scientific, Inc.), que armazenou valores médios a cada 30 min, a partir de medidas obtidas a cada segundo.

Segundo as parametrizações proposta pelo boletim FAO-56 (ALLEN, et al. 1998), a equação original de Penman-Monteith assume a seguinte forma para a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>, mm d<sup>-1</sup>):

$$ET_o = \frac{0,408 s (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

sendo: R<sub>n</sub> a radiação líquida total diária (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); G a densidade de fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); T<sub>med</sub> a temperatura média diária do ar a 2 m de altura (°C); U<sub>2</sub> a velocidade do vento média diária a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>); e<sub>s</sub> a pressão de saturação do vapor média diária (kPa); e<sub>a</sub> a pressão atual de vapor média diária (kPa); s a declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T<sub>med</sub> (kPa °C<sup>-1</sup>); γ o coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>).

Para períodos de 10 dias o boletim FAO-56 também recomenda G = 0.

Antes de submeter os dados experimentais a uma análise estatística e comparativa eles foram tratados objetivando-se obter um conjunto de dados lisimétricos representativo da ET<sub>o</sub> local. Os problemas ocorreram em dias com chuvas muito intensas e também em seqüências de dias com chuvas intermitentes. O descarte desses dias fragmentou o ano em seqüências menores sendo possível selecionar um período de 151 dias antes (1º. período), e outro de 103 dias após (2º. período) o inverno. O período de inverno mais intenso foi descartado em função da grama ter reduzido bastante seu crescimento, descaracterizando a condição de evapotranspiração de referência.

<sup>1</sup> PPG em Física do Ambiente Agrícola, LCE – ESALQ/USP, 13418-900 – Piracicaba – SP. E-Mail: santiago@esalq.usp.br. Bolsista CAPES.

<sup>2</sup> Professor Titular, LCE – ESALQ/USP, 13418-900 – Piracicaba – SP. E-Mail: arpereir@esalq.usp.br. Bolsista CNPq.

<sup>3</sup> Pesquisadora Visitante, Centro Politécnico – UFPR, 81530-900 – Curitiba – PR. E-Mail: selmarm@ufpr.br.

<sup>4</sup> Professor Associado, LER – ESALQ/USP, 13418-900 – Piracicaba – SP. E-Mail: mvfolega@esalq.usp.br.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se graficamente que as correlações entre valores medidos e estimados de ETo mostraram tendência de dispersão próximo à linha de valores iguais (1:1) podendo-se descartar o valor da intercepção da reta sem prejuízo nas análises. O modelo linear de comparação reduziu-se a  $Y = b X$ , forçando-se a passagem da reta pela origem ( $a = 0$ ), sendo  $Y =$  Valor medido e  $X =$  Valor estimado semelhante a análise utilizada por ALLEN et al. (1989). Nesse caso, quanto mais próximo de 1,0 for o valor de  $b$  melhor será a estimativa. Os valores comparados representam as médias de dez dias e são expressos em  $\text{mm d}^{-1}$ .

No primeiro período o coeficiente de regressão linear ( $b=1,0885$ ), indica que o valor de ETo estimado pelo modelo de Penman-Monteith (FAO-56) subestimou em 8% as medidas lisimétricas. No segundo período ( $b=0,9530$ ), representa uma superestimativa inferior a 5%. Combinando-se os dois períodos a subestimativa foi próxima a 3%, indicando boa correlação entre os valores medidos e estimados.

A Figura 1 ilustra a correlação entre os valores da ETo medida pelo lisímetro e o estimado pelo modelo de Penman-Monteith (FAO-56) na escala decencial, para o primeiro período (a) e segundo período (b). Nota-se que o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) foi maior no primeiro período em função do maior intervalo de variação dos valores medidos e estimados.

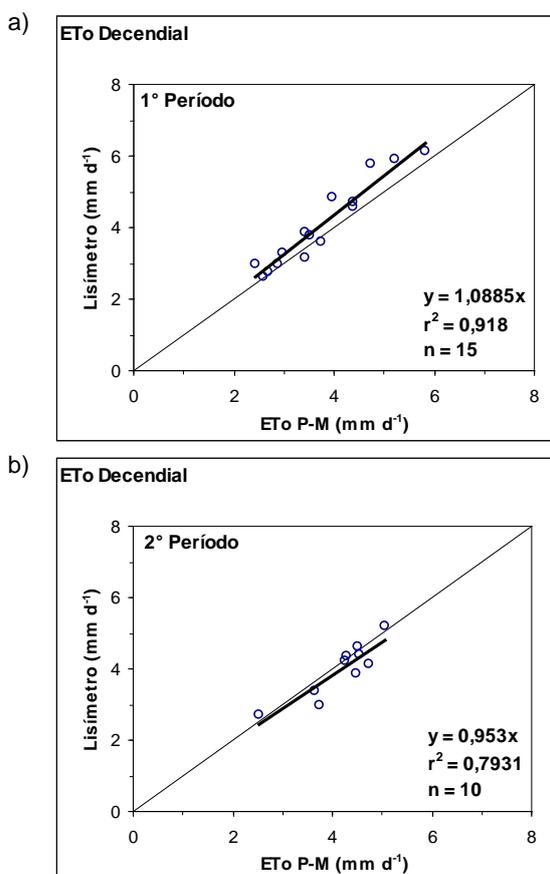


Figura 1. Relação entre a ETo medida (Lisímetro) e a estimada (P-M), na escala decencial, para o primeiro período (a) e segundo período (b) de 1996 em Piracicaba, SP.

## CONCLUSÃO

Os resultados aqui apresentados e discutidos mostraram ajustes bem melhores que aqueles relatados por PERES et al. (1995), e que foram obtidas com lisímetro de drenagem que não permite a obtenção de valores diários de ETo, sendo bem menos sensíveis que o lisímetro de pesagem aqui utilizado. As relações estatísticas resultantes não diferiram daquelas relatadas por ALLEN et al. (1989), sendo possível concluir-se que face às dificuldades de mensuração lisimétrica de ETo a performance da parametrização proposta pela FAO para a equação de Penman-Monteith pode ser considerada como adequada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.4, p.650-662. 1989.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration** - guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)
- BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G.; SANTOS, A.O.; BERGONCI, J.I. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica, a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: SBA, 1997. p.222-224.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 440p.
- PEREIRA, F.A.C. Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) em relação a um lisímetro de pesagem. Piracicaba, 1998. 52p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- PERES, J.G.; PEREIRA, A.R.; FRIZZONE, J.A. Avaliação do modelo de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência padronizada pela FAO. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.6, n.1, p.65-75, 1995.
- SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; FOLEGATTI, M.V. Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) por Penman-Monteith utilizando diferentes tipos de estação meteorológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília, 1998. CD-ROM.
- SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.53-58, 1999.
- SOUZA, J.L. CALHEIROS, C.B.M.; SANTOS, E.A. Evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith representativa da região do tabuleiro costeiro de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília, 1998. CD-ROM