

# ESTIMATIVAS DA CONSTANTE DE EVAPORAÇÃO DO SOLO NU ( $K_e$ ) EM FUNÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E DA EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE A<sup>1</sup>

Valter Barbieri<sup>2</sup>, Luciano Quaglia<sup>3</sup>, Miguel Angelo Maniero<sup>4</sup>, Nilson A. Villa Nova<sup>2</sup>

**ABSTRACT** - A simplified system of weighting lysimeter was idealized for obtaining of loss of water of the bare soil by evaporation. The study was in Piracicaba, SP, Brazil (lat. 22°42'S; long. 47°30'W) Such system just uses one load cell in each lysimeter, and one more load cell in the drainage system. The values of evaporation coefficient ( $K_e$ ), obtained was consistent. They can to identify the phase of fast reduction of  $K_e$  and other one of slow reduction, respectively for intermediate soil humidity and dry condition It was possible exponential adjustment of the evaporation coefficient ( $K_e$ ) in function of the ( $\Sigma ET_{OPM}$ ) or of the evaporation of the class A pan ( $\Sigma ECA$ ). The models for estimate of  $K_e$  can be used for the estimate of the evaporation of the bare soil ( $E_s$ ).

## INTRODUÇÃO

A consideração isolada do termo evaporação e do termo transpiração vem ganhando adeptos na comunidade científica dedicada a agrometeorologia. O termo evaporação é utilizado para a passagem da água do estado líquido para o gasoso. O processo é completamente controlado por leis físicas. É reconhecido por vários autores (Ritchie e Johnson, 1990), que existem três estágios de evaporação. No primeiro, com o solo ainda úmido, a evaporação depende de condições externas. Essa fase é denominada de estágio de evaporação potencial. A superfície do solo possui grande disponibilidade de água e é exposta livremente à demanda evaporativa atmosférica. Esta fase inicial termina quando se estabelece uma resistência ao fluxo da água na superfície do solo e a velocidade de evaporação decresce. O que importa neste segundo estágio de evaporação, são as condições atmosféricas e, principalmente, as condições intrínsecas do solo que governam o transporte de água dentro do perfil e, conseqüentemente, a velocidade de evaporação. Esta fase é denominada de estágio de evaporação real, quando já não existe suficiente disponibilidade de água no solo. Na maioria dos casos a evaporação real é menor que a evaporação potencial, exceto quando a demanda evaporativa não for alta. A terceira etapa do processo evaporativo do solo ocorre quando existe um movimento muito lento de água no solo e uma condutividade hidráulica muito baixa (Hillel, 1980), sendo a evaporação pouco dependente das condições ambientais, pois seu valor é muito baixo e bem menor do que a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ).

A determinação da evaporação nem sempre é uma tarefa fácil e direta. O uso da lisimetria possibilita a obtenção de variações de umidade no perfil de solo com grande precisão, em especial os lisímetros de pesagem, que podem ser utilizados para estudos de evaporação em solo nu. Para se obter um resultado preciso o equipamento deverá ser bem projetado, calibrado e monitorado.

Similar ao Coeficiente de Cultura ( $K_c$ ), o Coeficiente de Evaporação ( $K_e$ ) é a razão entre a evaporação da água do solo ( $E_s$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ).

O coeficiente  $K_e$  é utilizado juntamente com a forma bifásica de  $K_c$ . Isto é, quando se considera a partição do coeficiente de cultura na forma:

$$K_c = K_{cb} \cdot K_s + K_e$$

onde  $K_{cb}$  é o coeficiente de cultura basal,  $K_s$  é um coeficiente de estresse hídrico e  $K_e$  é o coeficiente de evaporação (Jensen et al., 1990; Wright, 1991; Allen et al., 1998). O coeficiente  $K_s$  é um redutor da transpiração da cultura quando esta sofre os efeitos da deficiência hídrica ( $K_s < 1$ ). Com o pleno suprimento de água  $K_s$  é a própria unidade e com a seca intensa  $K_s$  é igual a zero anulando a transpiração da cultura. O coeficiente de cultura basal ( $K_{cb}$ ) é a razão entre a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e a  $ET_o$ , na condição em que o teor de água no solo na zona radicular está adequado para manter a cultura em conforto hídrico ( $K_s = 1$ ), mas se a superfície evaporante do solo (primeiros centímetros da superfície) encontra-se seco então ( $K_e = 0$ ). O  $K_{cb}$  representa o limite inferior (ou valor de base) do  $K_c$  quando se subtraem os efeitos do umedecimento da camada superficial do solo pela rega ou pela precipitação. O coeficiente de evaporação do solo ( $K_e$ ) representa a evaporação do solo. Uma vez que a superfície evaporante do solo exposta à radiação direta varia ao longo do ciclo da cultura, o valor de  $K_e$  assume um valor complementar ao valor de  $K_{cb}$ , em especial quando a superfície do solo está totalmente molhada e a evapotranspiração da cultura é máxima.

O valor de  $K_e$  é igual ao valor de  $K_{c_{ini}}$  (cte. de cultura inicial) na área plantada uma vez que ainda não se desenvolveram as folhas e usado para estimativa da evapotranspiração máxima da cultura ( $E_{tm}$ ), sendo desta forma:  $E_{tm} = ET_o \cdot K_e$

A evaporação em solo nu ( $E_s$ ) e algumas formas de estimativas do coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) são estudadas neste trabalho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Piracicaba, SP, Brasil (lat. 22°42'S; long. 47°30'W; alt. 546 m). Foram instalados dois lisímetros de pesagem compostos de tanques cilíndricos, construídos em aço inoxidável, descritos por Quaglia e Barbieri (2003). O solo da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho distrófico latossólico (NVDl), com a CAD de 75mm no lisímetro utilizado para medir  $E_s$ .

A evapotranspiração de referência,  $ET_{OPM}$ , foi obtida pela equação de Penman – Monteith (Allen et al. 1998).

Os resultados de  $E_s$  e  $K_e$  foram analisados considerando-se que:

$$K_{e_{PM}} = E_s / ET_{OPM}$$

<sup>1</sup> Trabalho parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), SP, Brasil.

<sup>2</sup> Depto. de Ciências Exatas (DCE), E.S.A. "Luiz de Queiroz", Univ. de São Paulo, CP 09, 13418-900, Piracicaba, SP, Brazil. (email: vbarbier@esalq.usp.br).

<sup>3</sup> DCE, ESALQ, USP, Piracicaba, SP, Brazil. Bolsistas de pós-graduação (Física do Ambiente Agrícola) do CNPq.

<sup>4</sup> UFSCar – Agronomia – Araras- SP.

Da mesma forma foi calculado  $K_e$  para a evaporação diária do tanque Classe A assim:

$$K_{eECA} = E_s/ECA$$

Os valores de  $E_s$  foram observados após molhamento (chuva ou irrigação) durante alguns dias secos. A quantificação da seca foi retratada pela  $\Sigma ETo$  após o molhamento ou  $\Sigma ECA$  também após o molhamento, nos dias secos consecutivos.

Para a estimativa do  $K_e$  foram consideradas as sugestões descritas por Rijtema e Aboukhaled (1978) os quais utilizaram a hipótese da proporcionalidade entre a evapotranspiração e o armazenamento de água no solo.

Sendo nula a precipitação, e o solo sem cobertura vegetal e então o Neg.Acum. será o  $\Sigma ETo$ , logo,

$$E_s = (CAD/t)(1 - e^{-\Sigma EToPM/CAD})$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na fase inicial das culturas, quando somente haverá solo nu;

$$K_{c_{ini}} = K_e = E_s/ETo$$

$E_s$  = Evaporação de solo nu

Para determinação do  $K_e$  foram escolhidas séries de dados caracterizados pelo solo estar na capacidade de campo no primeiro dia, seguido por uma seqüência de dias secos.

A intensidade da seca é caracterizada pelo somatório do  $ETo$  dos dias secos de onde teremos  $K_e$  relacionado com  $\Sigma ETo$  através da análise de regressão exponencial. Desta forma, encontrou-se a função referente à figura 1 a seguir:

$$K_e = K_{c_{ini}} = 1,8398 e^{-0,0319 \Sigma EToPM}$$

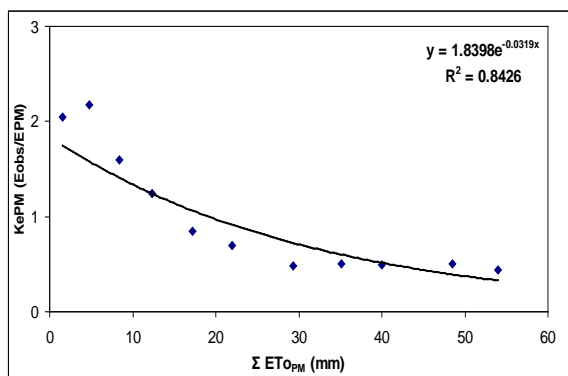


Figura 1. Relação entre o coeficiente de evaporação  $K_e$  e  $\Sigma ETo_{PM}$ .

Com o secamento do solo torna-se mais difícil da água ser evaporada para a atmosfera principalmente porque a camada superficial seca torna-se uma camada de impedimento para a evaporação e a ascensão capilar do solo vai sendo limitada pela distância entre a água contida nos capilares e a altura a ser alcançada até a superfície e, para a atmosfera. Esta equação permite determinar o valor de  $K_e$  uma vez que se conheça o  $\Sigma ETo_{PM}$ , cujos valores tornaram-se, atualmente, comuns na maioria das estações agrometeorológicas automatizadas, entretanto em algumas localidades não são coletados dados de todos os elementos climáticos para o cálculo de  $ETo_{PM}$ . Lembrado que em quase todos os sistemas de irrigação instalados em nosso país costuma-se coletar

os valores da evaporação do tanque classe A ( $ECA$ ), assim, para simplificar a determinação de  $K_e$  foi adotado também como índice de seca o  $\Sigma ECA$  resultando na seguinte equação, na figura 2 a seguir:

$$K_e = 1.1555 e^{-0,0177 \Sigma ECA}$$

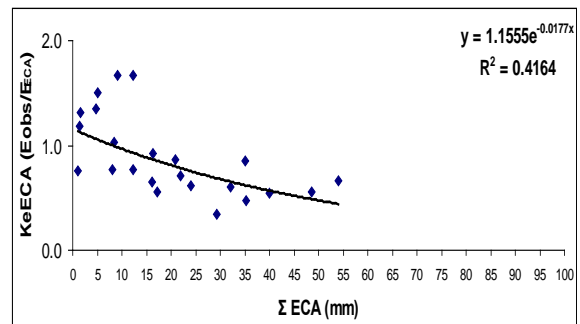


Figura 2. Relação entre o coeficiente de evaporação  $K_e$  e  $\Sigma ECA$ .

Essas tendências assemelham-se aos resultados citados por Allen (1998).

Para ampliar as possibilidades de usos destas equações serão necessários estudos que envolvam diferentes tipos de solo, profundidades dos níveis freáticos, coberturas da superfície do solo, coberturas do sistema que promovam diferentes permeabilidades da radiação global, e diferentes freqüências e quantidades de molhamentos da superfície do solo, demanda evaporativa atmosférica, capacidade de infiltração da água no solo, ascensão capilar da água no solo em diferentes profundidades do nível freático, armazenamento da água do solo representada pela umidade do solo.

## REFERÊNCIAS

- Allen, R. G.; Smith, M.; Perrier, A. An update for the definition of reference evapotranspiration. *Icid Bulletin*, v. 43, n. 2, p. 1 – 34, 1994. Allen, R.G.; Pereira, L. S.; Raes, D. et al. *Crop evaporation : guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998.
- Hillel, D. *Applications of soil physics*. London: Academic Press, 1980. 385p.
- Jensen, M.E.; Burman, R.D.; Allen, R.G. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1990. 332p.
- Quaglia L., Barbieri, V; Projeto e construção de um lisímetro de pesagem para determinação da evaporação do solo nu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13. Santa Maria, 2003. Anais. Santa Maria: UNIFRA - Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2003.
- Rijtema, P. E.E; Aboukhaled, A. Crop water using. In: *Research on Crop Water Use, Salt Affected Soils and Drainage in the Arab Republic of Eqypt*. FAO Regional Office for the Near East. p. 5-61. 1978
- Ritchie, J. T.; Johnson, B.S. Soil and plant factors affecting evaporation. In: Stewart, B. A.; Nielsen, D.R. (Ed.). *Irrigation of Agricultural Crops*,. Am. Soc. Agron. 1990. p. 363-390. (Agronomy Series 30).