

DESEMPENHO DO MÉTODO DE PENMAN ORIGINAL EM FUNÇÃO DA UMIDADE DA SUPERFÍCIE DO SOLO

Marco Antônio Lunardi¹, Dalva Martinelli Cury LUNARDI¹ & Marco Antônio FURLAN¹

1. INTRODUÇÃO

Dentre os métodos combinados, o de Penman (1948) se apresenta como um dos mais empregados, pela sua precisão.

O autor derivou sua fórmula assumindo proporcionalidade entre a evaporação da água e a evapotranspiração da grama subirrigada usando a relação entre calor sensível e latente, descrita por Bowen (1926), e do poder evaporante do ar a sombra, eliminando medidas de superfície inexistentes em estações meteorológicas convencionais.

Devido a tendência de superestimativa (Sedyama, 1996; Allen, 1989; Smith et al., 1991), foram sendo propostas algumas adequações ao método destacando-se as que sugerem uma nova função de vento, justificadas pelo fato de Penman tê-la originado acima de um tanque de evaporação, ou seja, sobre uma condição de rugosidade menor que acima de uma cultura, e que para estimar a evapotranspiração tanto a velocidade do vento (U), quanto o déficit de pressão de vapor foram medidos acima da vegetação.

Sendo este termo formado por uma função empírica da velocidade do vento, representada por uma regressão linear, multiplicado pelo déficit de pressão de vapor:

$$\lambda E_a = f(U)(e_o - e_a)$$

onde $f(U)$ é geralmente representado por uma regressão linear, ou seja:

$$f(U) = m(a + bU)$$

Penman (1948) propôs para os parâmetros os seguintes valores: $m = 0,35 \text{ mmHg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ou $6,43 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{KPa}^{-1}$, sendo $a = 1$ e $b = 0,00609 \text{ d} \cdot \text{Km}^{-1} = 0,526 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$, com a velocidade do vento medida a 2 metros de altura.

Pereira et al. (1996) utilizando lisímetro de lençol freático constante cultivado com grama, observou que independente do método de estimativa de Δe a função original de Penman superestimou os valores de ET_o , encontrando efeito das estações do ano sobre os resultados, com diferença apenas no coeficiente a que para o verão variou de 0,41 a 1,0 enquanto que para a primavera-outono foi -0,07 a 0,12.

O objetivo do presente trabalho foi observar o desempenho do método de Penman Original comparando os valores estimados de evapotranspiração acima de uma área mantida com e sem umidade na superfície do solo, ao longo das estações seca e úmida, com dados lisimétricos.

2. MATERIAL E MÉTODO

O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, no município de Botucatu, SP, com as seguintes coordenadas geográficas: 22°51' S de latitude, 48°26' W de longitude e 786 m de altitude.

O clima do município, segundo classificação do sistema Köppen, é Cwa: clima quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno, sendo a temperatura do mês mais quente superior a 22°C.

A evapotranspiração medida foi obtida numa estação lisimétrica com área de 6.700 m², constituída de 5 conjuntos lisimétricos de nível freático plantados com grama (*Paspalum notatum* F.), tendo cada um uma área de 2,0 m² de superfície evapotranspirante.

No período I, de janeiro de 1996 a outubro de 1998, o lençol freático nos lisímetros foi mantido a 46 cm de profundidade, o que permitiu que não existisse umidade na superfície do solo. A área externa aos lisímetros só recebeu água por precipitação.

No período II, de novembro de 1998 a novembro de 1999, na área externa, foi efetuada irrigação com frequência determinada através das leituras lisimétricas e da tensão de água no solo dentro e fora dos lisímetros, sendo o nível freático mantido a 30 cm, o que permitiu permanente umidade na superfície do solo.

Os dois períodos foram subdivididos em estação seca, de abril a setembro, e úmida, de outubro a março, sendo a evapotranspiração estimada pelo Método de Penman, utilizando-se a seguinte equação:

$$ET_{o_{po}} = \frac{WRn}{\lambda} + (1 - W)E_a$$

sendo: $ET_{o_{po}}$ = evapotranspiração em $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, λ = calor latente de evaporação $\text{MJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$, R_n a radiação líquida em $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, W o fator de ponderação dependente da temperatura do ar dado por (Wilson & Rouse, 1972; Wiswanadham et al., 1991), E_a é o poder evaporante do ar em $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

3. RESULTADOS E DISCUÇÃO

Tendo em vista que o fornecimento de água para a cultura, dentro dos lisímetros, era contínuo graças à presença do lençol freático e que as condições climáticas favoreceram o desenvolvimento da grama, mesmo na estação seca, conforme pode ser visto na Tabela 01 onde constam os valores de índice de área foliar, as diferenças observadas e que serão discutidas, comparando-se os dois períodos, devem ser devido as variações no balanço de energia acima da grama, função do teor de umidade da superfície do solo, onde no período I a mesma permaneceu dentro dos lisímetros constantemente seca e na área de bordadura a mercê da precipitação ocorrida, e no período II, constantemente úmida graças a irrigação na área externa e a ascensão de água do lençol freático dentro dos lisímetros.

Tabela 01 - Valores do índice de área foliar da grama com 0,12 m de altura ($\text{cm}^2/100\text{cm}^2$)

PERÍODO I		PERÍODO II	
Estação		Estação	
Seca	Úmida	Seca	Úmida
603	692	610	984

Na Tabela 02 são apresentados os índices obtidos da relação entre evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman original e obtida com os lisímetros. Observa-se alto coeficiente de determinação e superestimativas do método em todas as épocas.

Sendo a equação de Penman desenvolvida para estimar a evapotranspiração de uma superfície úmida, coberta de

¹ Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Fazenda Experimental Lageado, CP 237, Botucatu, SP. Tel: (14) 6802.7162, e-mail: lunardi@fca.unesp.br

Tabela 02 - Coeficientes de determinação (r^2) e angular (b) da regressão linear entre os valores medidos e estimados de evapotranspiração

PERÍODO I			
Estação seca		Estação úmida	
r^2	B	r^2	B
0,97	1,93	0,97	1,59
PERÍODO II			
Estação seca		Estação úmida	
r^2	b	r^2	B
0,99	1,02	0,90	0,93

vegetação em crescimento ativo, com bordadura suficiente a evitar energia advectiva e sem deficiência hídrica, admitindo o autor que a pressão saturante de vapor da superfície poderia ser obtida pela temperatura do ar, quando a superfície do solo encontra-se seca, como no período I, a temperatura da superfície é subestimada, sendo a pressão de vapor acima desta não saturante, havendo neste caso subestimativa de calor sensível transferido para atmosfera com superestimativa do método conforme ocorrido.

Com relação aos valores medidos de evapotranspiração, embora a grama tenha se desenvolvido plenamente, graças a obtenção de água pelas raízes a profundidades maiores, a interrupção da capilaridade nos primeiros centímetros de solo, neste período, pode ter levado a predominância da transpiração no processo de evapotranspiração, com diminuição ou mesmo interrupção da evaporação do solo.

Assim, para que o modelo de Penman seja preciso é necessário que a bordadura em torno da área experimental seja suficiente para não ocorrerem trocas de energia na horizontal, que as medidas necessárias para sua estimativa sejam acima da cultura, que o armazenamento de calor pela cultura seja pequeno e que a superfície esteja permanentemente úmida.

Tendo-se no período II, procurado-se seguir ao máximo estas condições, observa-se através da Tabela 2 que o desempenho do mesmo foi excelente.

Embora alguns autores concordem quanto a não universalidade da equação de $f(U)$ proposta por Penman, por apresentar um coeficiente de transporte sem especificar claramente as características aerodinâmicas da superfície, não poderia se esperar que neste período o seu desempenho fosse satisfatório, já que as condições experimentais, não satisfaziam os pré-requisitos para se obter a evapotranspiração de referência. Deve-se questionar

a validade de conclusões sobre a imprecisão do método de Penman, assim como de funções de vento obtidas, quando além da energia advectiva contribuindo no processo de perda d'água os valores medidos por lisímetros não se constituam de evaporação do solo mais transpiração da planta, comuns quando não se mantém a superfície do solo úmida.

4. CONCLUSÃO

Para que o método de Penman Original tenha bom desempenho, é necessário que a superfície do solo esteja permanentemente úmida.

Os Lisímetros de nível freático apresentaram-se adequados para a medida da evapotranspiração de referência, quando a profundidade do lençol freático permitia a ascensão capilar até a superfície do solo.

5. AGRADECIMENTOS:

O primeiro autor agradece à FAPESP pelas possibilidades recebidas através do Processo Nº 98/15085-0.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G., JENSEN, M.E., WRIGHT, J., BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, v.81, p.650-62, 1989.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.* **27**, p. 779-87, 1926.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London*, v.A193, p.120-46, 1948.
- PEREIRA, A.R., MANIERO, M.A., VILLANOVA, N.A., BARBIERI, V. Penman's wind function for a tropical humid climate. *Rev. Bras. de Agrometeorologia*, v.4, n.1, p.69-75, 1996.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa de evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. *Rev. Bras. de Agrometeorologia*, v.4, n.1, p.1-14, 1996.
- SMITH, M., SEGEREM, A., PEREIRA, L.S., PERRIER, A., ALLEN, R. **Report on expert consultation on procedures for revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45p.
- WILSON, R.G., ROUSE, W.R. Moisture and temperature limits of the equilibrium evapotranspiration model. *Journal of Applied Meteorology*, v.11, p.436-42, 1972.
- WISWANADHAM, Y., SILVA FILHO, V.P., ANDRE, R.G.B. The Priestley-Taylor parameter a for the Amazon forest. *Forest Ecology Management*, v.38, p.211-25, 1991.