

# ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA LONDRINA E PONTA GROSSA, PR<sup>1</sup>

PAULO HENRIQUE CARAMORI e ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA<sup>2</sup>

**RESUMO** - Partindo-se da equação de Penman para estimativa da evapotranspiração, procedeu-se à simplificação do termo aerodinâmico, substituindo-o pela evaporação de Piche para as condições de Londrina e Ponta Grossa. Foram encontrados coeficientes para os períodos mensais, primavera-verão, outono-inverno e anual, utilizando-se dados médios de dez dias. Testes de comparação realizados entre a equação simplificada para períodos anuais e a expressão original de Penman mostraram um excelente ajuste dos dados para os dois locais. As expressões obtidas para o cálculo da ETP foram:

$$\text{Londrina: ETP} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{H}{59} + (0,06 + 0,26 \text{ Epi})$$

$$\text{Ponta Grossa: ETP} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{H}{59} + (0,13 + 0,33 \text{ Epi})$$

A partir destas equações, é possível recuperar séries históricas de dados de evapotranspiração, para fins de balanço hídrico.

Termos para indexação: evapotranspiração de referência, climatologia agrícola.

## ESTIMATION OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION FOR LONDRINA AND PONTA GROSSA, PR, BRAZIL

**ABSTRACT** - The Penman equation for potential evapotranspiration was simplified in the aerodynamic term, replacing that by Piche evaporation for Londrina and Ponta Grossa regions. Coefficients for monthly, Spring-Summer, Autumn-Winter and annual periods were estimated using ten-day data average. Comparison between original Penman and simplified equation for annual period showed excellent adjustment for both sites. The expressions obtained for ETP calculation were:

$$\text{Londrina: ETP} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{H}{59} + (0.06 + 0.26 \text{ Epi})$$

$$\text{Ponta Grossa: ETP} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{H}{59} + (0.13 + 0.33 \text{ Epi})$$

These equations make it possible to recover historical ETP data for crop water requirement calculation purposes.

Index terms: reference evapotranspiration, agricultural climatology.

## INTRODUÇÃO

A estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) é de extrema importância no manejo da irrigação ou em estudos de balanço hídrico (Doorembos & Kassan 1979).

Dentre os métodos de estimativa da ETP, o desenvolvido por Penman (1948) é um dos que têm apresentado os melhores resultados (Pruitt 1960, Chang 1968, Jensen 1973, Mota & Beirsdorf 1976, Doorembos & Pruitt 1975, Amorim Neto & Villa Nova 1983, Ometto & Herter 1983), porque leva em conta os fatores básicos que provo-

cam a perda de água de uma superfície: energia líquida, velocidade do vento e déficit de saturação de umidade do ar.

Entretanto, a maior dificuldade de utilização do método de Penman reside na necessidade de se contar com muitos parâmetros meteorológicos, os quais nem sempre são coletados rotineiramente nos locais onde se necessita fazer a estimativa da ETP. Deste modo, algumas simplificações do método têm sido propostas, visando fornecer alternativas para a sua utilização mais ampla. Assim é que Stanhill (1962), Mota & Beirsdorf (1976), Ometto (1974), Ometto & Herter (1983) propõem a simplificação do termo aerodinâmico da equação de Penman, substituindo-o pela evaporação de Piche, eliminando, desta forma, a necessidade de utilização de dados de velocidade do ven-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 5 de fevereiro de 1986.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., M.Sc., Inst. Agron. do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 1331, CEP 86100 Londrina, PR.

to, cujas séries de medida geralmente são escassas. Além de apresentar boa precisão na estimativa da ETP, esta substituição é particularmente vantajosa quando se considera a existência de séries extensas de dados de observação da evaporação de Piche, possibilitando a recuperação de séries de dados para estudos climatológicos. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo fornecer alternativas para utilização do método de Penman de forma mais ampla e simplificada, para as condições de Londrina e Ponta Grossa, Estado do Paraná.

### METODOLOGIA

A equação de Penman (1948) pode ser desdobrada em duas partes aditivas, onde a primeira corresponde ao termo energético, e a segunda, ao termo aerodinâmico, conforme Ometto (1981):

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{H}{59} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a(1), \text{ onde:}$$

ETP = Evapotranspiração potencial (mm.dia<sup>-1</sup>)

$\Delta$  = Tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água à temperatura do ar (mm Hg.°C<sup>-1</sup>)

$\gamma$  = Constante psicrométrica (mm Hg.°C<sup>-1</sup>)

H

— = Radiação líquida disponível (mm ev.eq.)

59

$E_a = (0,175 + 0,184 V)$  (es - e)

es = Tensão de saturação de vapor d'água (mm Hg)

e = Tensão atual de vapor d'água (mm Hg)

v = Velocidade do vento a 2 m de altura (m.s<sup>-1</sup>)

Partindo-se da expressão na forma apresentada na equação (1), foram feitas regressões lineares entre o termo aerodinâmico e a evaporação de Piche, obtendo-se equações do tipo:

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{H}{59} + (a + b E_{pi}) (2), \text{ onde:}$$

$$ETP, \Delta, \gamma, \frac{H}{59} = \text{idem Equação (1)}$$

E<sub>pi</sub> = Evaporação de Piche (mm)

a, b = Coeficientes

Os parâmetros a e b foram obtidos para os períodos mensais, primavera-verão, outono-inverno e anual. Os elementos meteorológicos utilizados nos cálculos foram resultantes de valores médios do primeiro, segundo e terceiro decêndio de cada mês, no período 1977-1983. Estes dados pertencem às estações meteorológicas do IAPAR localizadas nos municípios de Ponta Grossa (25°13'S, 50°01'W, 880 m) e Londrina (23°22'S, 51°10'W, 595 m).

A estimativa da radiação solar global para o cálculo da radiação líquida foi feita através das equações propostas por Gomes & Santos (1978) e Caramori et al. (1985).

As equações obtidas para períodos anuais foram confrontadas com a expressão original de Penman, afim de se verificar o ajuste dos dados.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos coeficientes a, b e r (coeficiente de regressão), das equações de regressão entre o fator aerodinâmico da equação de Penman e a evaporação de Piche, para períodos mensais, primavera-verão, outono-inverno e anuais, de Londrina e Ponta Grossa, são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Em geral, verifica-se um bom ajuste dos dados obtidos, nos dois locais, indicando uma boa estimativa do termo aerodinâmico. Observa-se, também, considerável oscilação nos valores mensais dos coeficientes a e b, para os dois locais estudados, a qual foi também observada por Ometto & Herter (1983), para as condições de Pelotas, RS (Tabelas 1 e 2).

Considerando-se os períodos primavera-verão, outono-inverno e anual, a variação nos valores dos coeficientes é muito pequena, resultando em cálculos semelhantes para o termo aerodinâmico. Nas Fig. 1 e 2 são plotados os valores de ETP por decêndios, calculados através do método original de Penman e pelo método simplificado, utilizando-se as equações anuais. Observa-se, para os dois locais, um excelente ajuste dos dados em torno da reta 1:1, evidenciando o bom desempenho do método simplificado na estimativa da ETP. Estes dados mostram também que a equação anual pode ser usada com boa precisão, durante o ano todo, o que, sem dúvida, simplifica o emprego deste método. Utilizando-se as equações anuais, foram calculados os valores médios de ETP por decêndios, com respectivos intervalos de confiança da média, a nível de 95%, para Londrina (1958-1983) e Ponta Grossa (1954-1983), os quais são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Em geral, observa-se maior variabilidade dos dados de Ponta Grossa, como consequência de maior variação nos valores médios dos parâmetros meteorológicos utilizados nos cálculos. Os valores de ETP obtidos representam a demanda evaporativa média nos dois locais estudados e fornecem indicações de necessidades hídricas para as culturas exploradas nestas regiões (Tabelas 3 e 4).

**TABELA 1.** Coeficientes linear (a) e angular (b) das equações de regressão entre o termo aerodinâmico da equação de Penman e a evaporação de Piche, com respectivos coeficientes de regressão (r), para Londrina.

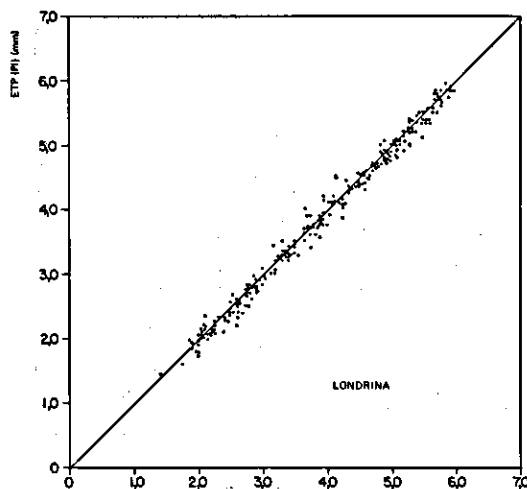
Período	a	b	r
Janeiro	0,01	0,27	0,96
Fevereiro	0,19	0,23	0,93
Março	0,12	0,25	0,94
Abril	-0,03	0,29	0,88
Mai	0,02	0,27	0,95
Junho	0,07	0,23	0,82
Julho	-0,06	0,29	0,92
Agosto	0,08	0,24	0,95
Setembro	0,05	0,26	0,93
Outubro	0,10	0,25	0,92
Novembro	0,04	0,28	0,90
Dezembro	0,18	0,23	0,90
Primavera-verão	0,08	0,26	0,89
Outono-inverno	0,04	0,26	0,89
Anual	0,06	0,26	0,95

**TABELA 2.** Coeficientes linear (a) e angular (b) das equações de regressão entre o termo aerodinâmico da equação de Penman e a evaporação de Piche, com respectivos coeficientes de regressão (r), para Ponta Grossa.

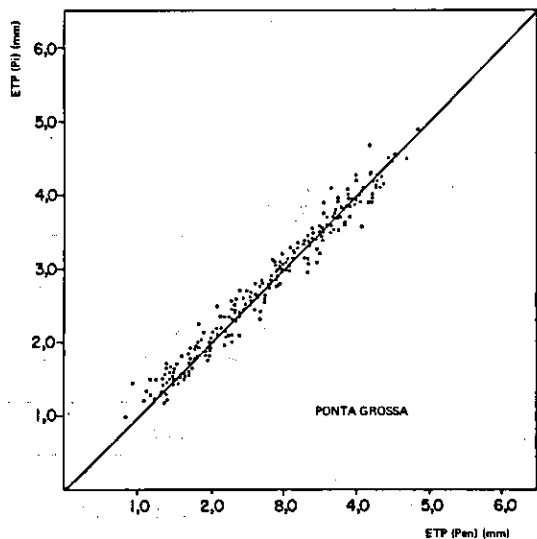
Período	a	b	r
Janeiro	-0,07	0,41	0,87
Fevereiro	-0,03	0,37	0,95
Março	0,17	0,28	0,87
Abril	0,21	0,27	0,92
Mai	0,26	0,24	0,79
Junho	0,10	0,34	0,32
Julho	0,002	0,38	0,89
Agosto	0,28	0,28	0,87
Setembro	0,25	0,30	0,93
Outubro	0,26	0,30	0,93
Novembro	0,05	0,36	0,89
Dezembro	0,15	0,33	0,87
Primavera-verão	0,14	0,33	0,91
Outono-inverno	0,15	0,31	0,87
Anual	0,13	0,33	0,89

Finalmente, é necessário destacar que os valores dos coeficientes a e b variam de acordo com as condições climáticas da região em estudo e com o período utilizado para o cálculo dos valores dos parâmetros, conforme pode-se observar na Tabela 5.

Este fato reforça a necessidade de se obter os coeficientes representativos da região de estudo, levando-se em conta o período de interesse de estimativa da ETP (pêntadas, decêndios ou meses), visando assim maior precisão na estimativa da evapotranspiração.



**FIG. 1.** Relação entre os valores de evapotranspiração calculados pelo método original de Penman (ET<sub>o</sub> Pen) e o método simplificado (ET<sub>o</sub> Pi), para Londrina, PR.



**FIG. 2.** Relação entre os valores de evapotranspiração calculados pelo método original de Penman (ET<sub>o</sub> Pen) e o método simplificado (ET<sub>o</sub> Pi), para Ponta Grossa, PR.

TABELA 3. Valores médios da evapotranspiração potencial ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) calculados pelo método de Penman simplificado, com respectivos intervalos de confiança da média (nível de 95%), para Londrina, PR (1958-1983).

	Primeiro decênio	Segundo decênio	Terceiro decênio	Média
Janeiro	4,9 ± 1,0	4,9 ± 1,4	5,1 ± 1,1	5,0 ± 0,7
Fevereiro	4,7 ± 1,1	4,7 ± 1,3	4,6 ± 1,2	4,7 ± 0,8
Março	4,2 ± 0,8	4,1 ± 1,0	4,2 ± 0,8	4,2 ± 0,5
Abril	3,4 ± 0,8	3,4 ± 0,5	3,3 ± 0,9	3,3 ± 0,5
Mai	2,3 ± 0,5	2,3 ± 0,5	2,3 ± 0,6	2,3 ± 0,4
Junho	1,8 ± 0,4	1,7 ± 0,8	1,9 ± 0,3	1,8 ± 0,3
Julho	1,9 ± 0,5	2,0 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,1 ± 0,4
Agosto	2,8 ± 0,7	2,9 ± 0,6	3,0 ± 0,8	2,9 ± 0,6
Setembro	3,6 ± 0,9	3,7 ± 1,1	3,7 ± 0,7	3,6 ± 0,5
Outubro	4,2 ± 1,2	4,3 ± 0,6	4,4 ± 1,0	4,3 ± 0,7
Novembro	5,0 ± 0,8	4,9 ± 1,0	5,1 ± 0,9	5,0 ± 0,6
Dezembro	5,1 ± 1,1	5,0 ± 1,1	4,8 ± 1,0	4,9 ± 0,7

TABELA 4. Valores médios da evapotranspiração potencial ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) calculados pelo método de Penman simplificado, com respectivos intervalos de confiança da média (nível de 95%), para Ponta Grossa, PR (1954-1983).

	Primeiro decênio	Segundo decênio	Terceiro decênio	Média
Janeiro	3,6 ± 1,0	3,6 ± 1,0	3,8 ± 1,1	3,7 ± 0,7
Fevereiro	3,5 ± 1,1	3,5 ± 1,2	3,4 ± 1,1	3,4 ± 0,8
Março	2,9 ± 0,7	2,9 ± 1,0	2,9 ± 0,7	2,9 ± 0,6
Abril	2,3 ± 0,6	2,3 ± 1,1	2,2 ± 0,7	2,3 ± 0,6
Mai	1,7 ± 1,0	1,7 ± 0,8	1,6 ± 1,0	1,7 ± 0,6
Junho	1,4 ± 0,9	1,3 ± 0,8	1,3 ± 1,0	1,3 ± 0,6
Julho	1,4 ± 0,7	1,4 ± 0,6	1,6 ± 1,1	1,5 ± 0,6
Agosto	1,9 ± 0,7	1,9 ± 0,6	2,1 ± 1,2	2,0 ± 0,5
Setembro	2,4 ± 0,7	2,5 ± 1,0	2,5 ± 0,7	2,5 ± 0,6
Outubro	3,0 ± 1,0	3,0 ± 0,8	3,1 ± 0,9	3,0 ± 0,7
Novembro	3,5 ± 0,9	3,5 ± 0,9	3,7 ± 1,4	3,6 ± 0,8
Dezembro	3,6 ± 1,3	3,7 ± 1,2	3,6 ± 1,0	3,6 ± 0,9

TABELA 5. Valores dos coeficientes a e b das equações de regressão entre o termo aerodinâmico da equação de Penman e a evaporação de Piche em diferentes locais.

Autor	Local	Período	a	b
Stanhill (1962)	Israel	Decênio	0,11	0,15
Ornetto (1974)	Piracicaba (SP)	Mensal	0	0,28
Mota & Beirsdorf (1975)	Pelotas (RS)	Mensal	-0,51	0,34
Mota & Beirsdorf (1975)	Pelotas (RS)	Pêntadas	-0,43	0,29
Braga (1982)	Laguna (SC)	Mensal	0	0,41
Caramoti & Faria (1985)	Londrina (PR)	Decênio	0,06	0,26
Caramoti & Faria (1985)	Ponta Grossa (PR)	Decênio	0,13	0,33

## CONCLUSÕES

1. A simplificação do termo aerodinâmico da fórmula de Penman para o cálculo da evapotranspiração mostrou-se uma alternativa viável, para as condições de Londrina e Ponta Grossa.

2. Utilizando-se uma única equação durante o ano todo, para cada local, obtida a partir de valores médios decendiais, é possível fazer a estimativa da evapotranspiração com excelente precisão.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM NETO, M. da S. & VILLA NOVA, N.A. Novo sistema de medidas de evaporação para o tanque classe "A". *Pesq. agropec. bras.*, 18(7):695-702, 1983.
- CARAMORI, P.H.; CORRÊA, A.R.; BORROZINO, E. Estimativa da radiação solar global diária para Ponta Grossa, PR, a partir da insolação diária. *Polígrafo*, 7(1):107-18, 1985.
- CHANG, J.H. *Climate and agriculture; an ecological survey*. Chicago, Aldine, 1968. 304p.
- DOOREMBOS, J. & KASSAN, A.H. Yield response to water. *FAO Irrig. Drain. Pap.*, (33), 1979.
- DOOREMBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirements. *FAO Irrig. Drain. Pap.*, (24), 1975.
- GOMES, J. & SANTOS, J.M. dos. Estimativa de radiação solar global diária em Londrina a partir da insolação. *Pesq. agropec. bras.*, 13(4):51-6, 1978.
- JENSEN, M.E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York, Am. Soc. Civil Eng., 1973. 215p.
- MOTA, F.S. da & BEIRSDORF, M.I.C. Medidas e estimativas da evapotranspiração potencial em Pelotas, Rio Grande do Sul. *Ci. e Cult.*, 28(6):666-72, 1976.
- OMETTO, J.C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 425p.
- OMETTO, J.C. Uma equação para a estimativa da evapotranspiração potencial; sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e do rendimento agro-industrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba (SP). Piracicaba, ESALQ/USP, 1974. Tese Livre Docência.
- OMETTO, J.C. & HERTER, F.G. Adaptação do método de Villa Nova e Ometto (estimativa da evapotranspiração de referência) para a região de Pelotas, RS. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 3., Campinas, 1983. *Anais*. Campinas, s.ed., 1983. p.19-30.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London Ser. A*, 193:120-45, 1948.
- PRUITT, W.O. Correlation of climatological data with water requirement of crops. *Davis, Univ. of California - Dep. Irrig.*, 1960.
- STANHILL, G. The use of Piche evaporimeter in the calculation of evaporation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 88: 80-2, 1962.