

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA CÁLCULADA À INTERVALOS DE DADOS HORÁRIOS E DIÁRIO<sup>1</sup>

D.G. FEITOSA<sup>2</sup>, F.B.T. HERNANDEZ<sup>3</sup>, C.M.U. NEALE<sup>4</sup>, A.H.C. TEIXEIRA<sup>5</sup>, G.O. SANTOS<sup>6</sup>

**RESUMO:** O conhecimento da evapotranspiração é fundamental para a estimativa da necessidade de irrigação. Entre os diversos métodos existentes para a realização do cálculo, o método de Penman-Monteith é considerado como o mais preciso, podendo se calcular a evapotranspiração de referência tanto utilizando médias de dados diários quanto a soma das médias das variáveis horárias. Dessa forma, objetivou-se neste trabalho a comparação dos cálculos de evapotranspiração com os dados diários e horários na região do noroeste paulista, para verificar se existe diferença entre os métodos e qual deve ser adotado dentro do manejo da irrigação. Os resultados preliminares indicam que a evapotranspiração de referência calculada com dados médios diários, apresenta valores em média 6% acima dos valores da evapotranspiração calculada com os dados horários, manifestando a necessidade do uso de um lisímetros para verificar o método mais preciso.

**PALAVRAS-CHAVE:** PENMAN-MONTEITH, IRRIGAÇÃO

REFERENCEEVAPOTRANSPIRATIONWITH DIFFERENT PERIODSOFDATA

**SUMMARY:** Knowledge of the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) is crucial for the estimation of irrigation water requirements. There are various to estimate the ET<sub>o</sub>, but the Penman-Monteith's method is considered the most accurate, and can estimate the ET<sub>o</sub> for both hourly and daily data. Thus, the objective of this work was to compare the ET<sub>o</sub> using hourly and daily data in the northwest region of the State of Sao Paulo, Brazil, to check the difference between the approaches and which should be adopted for irrigation management in the region. The preliminary results show that the reference evapotranspiration estimated by daily data, resulted in values on average 6% higher than

---

<sup>1</sup>Trabalho desenvolvido com apoio financeiro da FAPESP (Projeto 09/52467-4, Modelagem da produtividade da água em bacias hidrográficas com mudanças de uso da terra).

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Bolsista do CNPq e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia UNESP Ilha Solteira. Caixa Postal 34. CEP 15.3850-000 - Ilha Solteira - SP. Fone: (18) 88119753. [diegogfeitosa@yahoo.com.br](mailto:diegogfeitosa@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo e Professor Titular da UNESP Ilha Solteira - DEFERS.

<sup>4</sup> Engenheiro Civil e Professor na Utah State University.

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo e Pesquisador da Embrapa Semi árido

<sup>6</sup> Engenheiro Ambiental e Mestrando em Agronomia na UNESP Ilha Solteira.

those estimated with hourly data. Future research examining other climatic variables over longer periods should be conducted as well as the use of lysimeters to check which method is more accurate.

**KEYWORDS:**PENMAN-MONTEITH,IRRIGATION

## **INTRODUÇÃO**

O conhecimento da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é de grande importância na estimativa da necessidade de irrigação das culturas, sendo um dos primeiros fatores que deve ser conhecido para um eficiente manejo racional de recursos hídricos (BACK, 2007).

Segundo Mendonça et al. (2003), a evapotranspiração resume-se ao processo inverso da precipitação, pois é a somatória da perda de água através da evaporação do solo e da transpiração das plantas, sendo controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas.

Entre os pesquisadores em diversos países do mundo, o método de Penman-Monteith, descrito por Allen et al. (1998), vem sendo aceito como o método padrão para o cálculo da Evapotranspiração de Referência (SMITH et al.,1991).

Através do método de Penman-Monteith é possível realizar o cálculo tanto da evapotranspiração horária e posteriormente chegar a evapotranspiração diária através da soma dos valores horários, quanto calcular a evapotranspiração diária através dos dados médios diários.

Desse forma objetivou-se neste trabalho, comparar a diferença entre os valores diários de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, calculados através dos dados horários e dados diários para se verificar se existe diferença entre os métodos e qual deve ser adotado dentro do manejo da irrigação na região noroeste do Estado de São Paulo.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os dados de temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa máxima e mínima, pressão atmosférica, velocidade média do vento, radiação global e radiação líquida para o período do ano de 2010, utilizados nos cálculos da evapotranspiração, foram obtidos através da estação agrometeorológica (Latitude 20° 25' 23,5" S e Longitude: 51° 21' 12,6" W), monitorada pela Área de Hidráulica e Irrigação da Unesp de Ilha Solteira (UNESP, 2011).

Os sensores utilizados foram o de direção e velocidade do vento modelo Campbell 03001 Wind Sentry, sensor de pressão atmosférica modelo: Campbell CS105 Barometric Pressure Sensor, sensor de radiação global, modelo (LI-200X Pyranometer), sensor de radiação líquida, modelo REBSQ-7.1 Net Radiometer, sensor de temperatura e umidade relativa do ar, modelo Vaisala HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe.

Os valores de temperatura média, utilizados no cálculo diário, foram obtidas através da média entre as temperaturas máximas e mínimas como recomenda o Manual FAO56, já para o cálculo horário, foram utilizadas as médias das temperaturas registradas durante o decorrer da hora.

A evapotranspiração de referência para os valores diários e horários, foram calculadas pelo método de Penman-Monteith (PM), (ALLEN et al., 2007), para uma superfície com grama adotando-se um albedo de 0,23. Para os valores diários foi utilizada a equação 1.

$$E_{to} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + C_d U_2)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$E_{to}$  - evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$R_n$  - saldo de radiação à superfície ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

$G$  - fluxo de calor sensível no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

$T$  - temperatura média do ar a 2 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ );

$U_2$  - velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );

$e_s$  - pressão de saturação de vapor (kPa);

$e_a$  - pressão atual de vapor (kPa);

$\Delta$  - declividade da curva de pressão de saturação ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), e

$\gamma$  - constante psicrométrica ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

$C_d$  - denominador constante = 0,34 relacionado ao tipo de referência e o período do ( $\text{s.m}^{-1}$ )

Já os valores horários foram obtidos através da equação 2.

$$E_{to} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{37}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + C_d U_2)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$E_{to}$  - evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$R_n$  - saldo de radiação à superfície ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

$G$  - fluxo de calor sensível no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

$T$  - temperatura média do ar a 2 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ );

$U_2$  - velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );

$e_s$  - pressão de saturação de vapor (kPa);

$e_a$  - pressão atual de vapor (kPa);

$\Delta$  - declividade da curva de pressão de saturação ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), e

$\gamma$  - constante psicrométrica ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Cd - denominador constante = 0,24 durante o dia e 0,96 durante a noite, relacionado a referência e o período do cálculo ( $s\ m^{-1}$ )

Os cálculos foram realizados utilizando planilhas no software Microsoft Excel, e os dados de evapotranspiração horária, foram compilados em valores diários através do software de programação Matlab. Os dias onde não haviam os dados horários completos para as 24 horas do dia, ou em casos que haviam dados faltando, foram descartados para não afetar os resultados.

Os dados foram avaliados através de gráficos elaborados no software Microsoft Excel e de análises estatísticas rodadas através do software Sisvar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise estatística dos dados, observou-se uma diferença entre os valores obtidos através dos diferentes intervalos utilizados na base do cálculo, onde os dados de evapotranspiração calculados com dados de base diária, apresentaram uma média de  $4,10\ mm.dia^{-1}$ , valor 6% superior a média de  $3,87\ mm.dia^{-1}$  encontrada para os valores de evapotranspiração calculada a partir dos dados de evapotranspiração horária (Tabela 1). Este valores apresentaram diferença estatística para uma probabilidade F de 5%.

Este resultados corroboram com Grazhdani, Ahmeti e Bitri (2010) que afirmam que as equação de ASCE-PM e FAO56-PM, tendem a calcular um menor ETo quando realizado o cálculo horário e feita a somatória diária do que quando aplicado em intervalos de tempo diário. O autor ainda afirma que essa diferença é em torno de 4%, valor semelhante ao encontrado no presente trabalho.

Tabela 1. Médias de ETo PN-M, probabilidade de F e coeficiente de variação (CV).

Fontes de Variação	ETo PM( $mm.dia^{-1}$ )
<b>Base do cálculo</b>	
Dados Diários (DD)	4,10 a
<b>Probabilidade de F<sup>(1)</sup></b>	
Base do cálculo	4,81 *
CV (%)	34

Médias seguidas de mesma letra na coluna, por fonte de variação, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, \* = valores significativos para  $P < 0,05$ .

Grazhdani e Ahmeti (2010) realizaram a comparação entre os valores de evapotranspiração de referência diária com a soma da evapotranspiração horária em diversas localidades, sendo que na maior parte dos resultados, os valores de evapotranspiração de referência diária foram maiores do que a horária, encontrando valores entre 1% a 8% superiores a evapotranspiração horária. Porém, em duas localidades, onde a evapotranspiração média anual foram as menores, devido a altitude, o autor encontrou um comportamento inverso, chegando a encontrar valores de evapotranspiração diária 3,9% menores do que a horária.

No gráfico 1 está o resultado da regressão entre os valores de evapotranspiração de referência horária e a diária, encontramos um  $R^2$  aproximadamente de 0,97, valor esse muito satisfatório, demonstrando uma ótima correlação entre os dados, resultado muito semelhante ao encontrado por Yildirim, Cakmak e Kose (2004), que na mesma regressão encontraram um  $R^2$  de aproximadamente 0,98. Ao comparar o comportamento da regressão com a linha 1:1, observa-se menores valores dos dados horários em relação aos diários.

No gráfico 2 tem-se os valores da evapotranspiração diária e horária total para cada mês, onde é possível verificar que o comportamento da diferença entre os métodos não é o mesmo para todos os meses, apresentado nos meses de abril e julho uma diferença inferior aos demais meses, e nos meses de maio e junho a evapotranspiração horária chega a ser respectivamente 0,12 e 0,21 mm maior que diária, porém essa diferença é pequena e fica em torno de 0.2% .

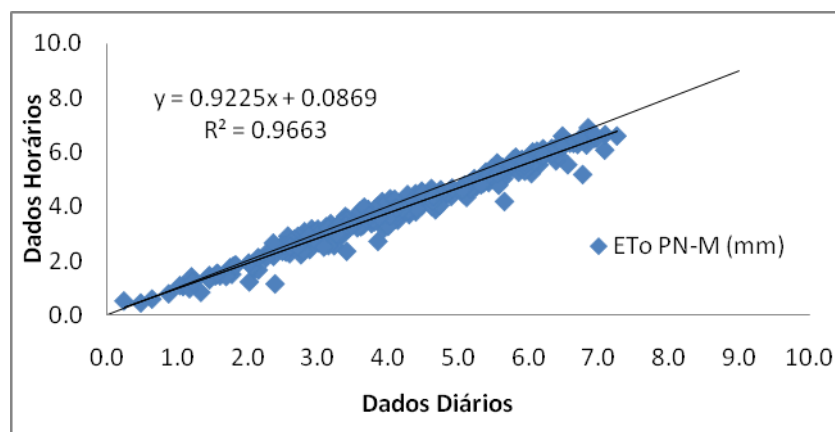


Gráfico 1. Regressão linear para ETo PN-M com dados de base horária e diária

Observa-se ainda que os maiores valores tanto para a evapotranspiração de referência com base horária quanto para diária foram encontrados no mês de outubro, caracterizando-se como o mês de pico, este também foi o mês que apresentou a maior diferença entre os métodos, onde a diferença entre as somatórias foi de 12,5 mm, sendo que a evapotranspiração

diária apresentou um valor 9% superior ao valor de evapotranspiração horária, diferença superior aos 5,3% encontrados por Grazhdani e Ahmeti (2010) no mês de pico.

Devido a variância dos dados encontrados, se torna-se necessário uma análise mais profunda de outras variáveis climáticas que podem estar afetando esse comportamento usando um período de vários anos de dados bem como o uso de um lisímetro para uma comparação e concluir qual é o melhor método, observação corroborada por Yildirim, Cakmak e Kose (2004) que chegaram a mesma conclusão. Eles ainda afirmam que se for feita a decisão pelo uso dos dados horários para o cálculo da necessidade hídrica da cultura, haverá uma diminuição no custo de implantação do sistema de irrigação, devido a menor vazão necessária.

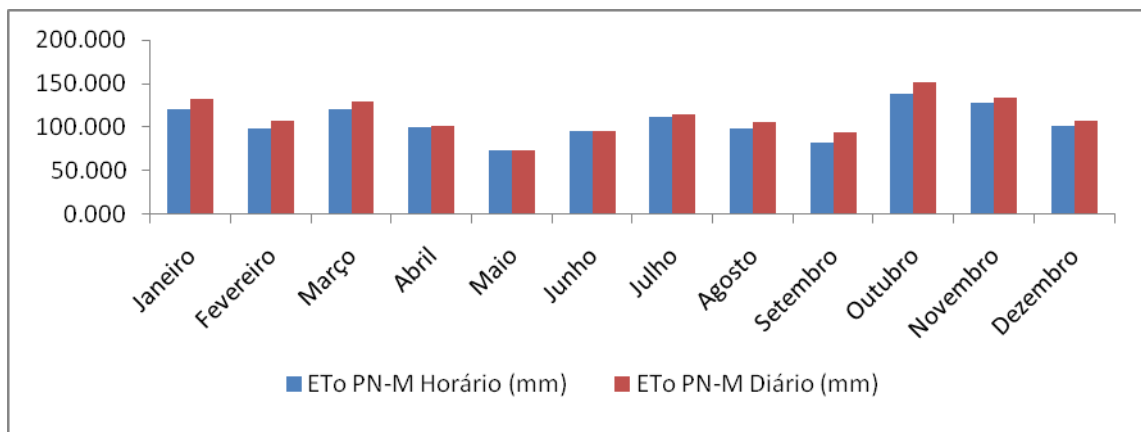


Gráfico 2. Soma mensal dos daETo PN-M com base em dados horários e diários.

## CONCLUSÕES

A evapotranspiração de referência calculada com dados diários, apresenta valores em média 6% acima dos valores da evapotranspiração calculada com os dados horários para uma estação no noroeste paulista.

Essa diferença não é a mesma em todos os meses do ano, variando desde de 0 a 9%. Essa variação nos dados manifesta a necessidade de examinar o efeito de outras variáveis climáticas bem como o uso de um lisímetro para verificar o método mais preciso.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G. et al. Water Requirements. In: HOFFMAN, G. J. et al. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2. ed. Nebraska: American Society of Agricultural & Biological, 2007. Cap. 8, p. 208-288.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO.Irrigation and Drainage Paper, 56).

BACK, A.J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.139-145, 2007.

GRAZHDANI, S.; AHMETI, A.; BITRI, M. An evaluation and comparison of reference crop evapotranspiration in climatic conditions of albania. **Natura Montenegrina**, Montenegro, v. 9, n. 3, p.937-950, 2010.

GRAZHDANI, S.; AHMETI, A. Estimating Reference Evapotranspiration Using Two Different Models of Penman-Monteith Method for Climatic Conditions of Albania. **Balwois 2010**, RepublicOfMacedonia, v. 25, n. 29, p.1-11, 2010.

MENDONÇA, J.C. SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; DIAS, G.P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

SMITH, M. Report on the expert consultations on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome: FAO, 1991. 45 p. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/docs/Revised-FAO-Methodology-CropWaterRequirements.pdf>. Acesso em: 18 de jun de 2011.

UNESP. **ÁREA DE HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO: DADOS AGROCLIMATOLÓGICOS** - WeatherDatabase. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/redirecionaclima.php>>. Acesso em: 3 jun. 2011.

YILDIRIM, Y.E.; CAKMAK, B.; KOSE, T. Comparison of Hourly and Daily Reference Evapotranspiration Values for GAP Project Area. **Journal Of Applied Sciences**, v. 4, n. 1, p.53-57, 2004.