

## COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMAR EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM TÚNEL DE PLÁSTICO<sup>1</sup>

**Dálcio Ricardo Botelho Alves**

*Faculdade de Ciências Agronômicas -UNESP-Campus de Botucatu*

**Antonio Evaldo Klar<sup>2</sup>**

*Dep. de Eng. Rural- Faculdade de Ciências Agronômicas -UNESP-Campus de Botucatu C.P: 237 - Fone: (014) 821-3883- Fax: (014) 821-3438  
CEP: 18603-970 - Botucatu - SP - Brasil*

### 1. RESUMO

O presente estudo foi realizado junto ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Botucatu com o objetivo de estudar a possibilidade da utilização de dados de evapotranspiração de referência obtidos em postos meteorológicos para se avaliar a que ocorre dentro de um túnel de plástico com as dimensões de 24 m x 8 m e 4 m de altura em sua parte central. A lona plástica tinha uma espessura de 0,075 mm. A estrutura foi feita com arcos de ferro galvanizado sustentados por colunas de ferro de 1,5 m de altura. As laterais tinham cortinas de plástico enroláveis e a frente e a traseira eram fechadas com o mesmo material fixado com quadros de madeira. Dentro do túnel, foi instalado um tanque Classe A e um termohigrógrafo no meio de uma cultura de alface. Um Posto Meteorológico, localizado a cerca de 500 m do túnel, forneceu os dados necessários para os cálculos da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman, de Penman-FAO ajustado e de outro tanque Classe A. Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões: 1. os dados de perda da água do tanque Classe A dentro do túnel são altamente correlacionados e menores que os do tanque fora dele e também significativamente correlacionados com os obtidos pelos métodos de Penman e de Penman-FAO ajustado; 2. os dados referentes à temperatura e à umidade relativa do ar no interior do túnel foram pouco superiores aos ocorridos a céu aberto, em torno de 3% e 2,3%, respectivamente; 3. os dados de evapotranspiração medidos, fora do túnel, pelo método de Penman-FAO ajustado foram menores que os de Penman ( 25%) e que os do Tanque Classe A (5,4%); 4. pode-se avaliar a evapotranspiração de referência que ocorre dentro de um túnel de plástico por medições em postos meteorológicos próximos.

**UNITERMOS:** Penman, Penman-FAO, Tanque Classe A.

1 - Aprovado no XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Recife-PE, 1995.

2 - Pesquisador do CNPq

**ALVES, D.R.B., KLAR, A.E. Comparison of Reference Evapotranspiration Methods in a Plastic Tunnel**

**2. ABSTRACT**

This study was carried out to evaluate the possibility to apply evapotranspiration data from weather stations to estimate evapotranspiration in a plastic cover tunnel of 24 m x 8 m and 4 m height in the center. The thickness of the plastic cover was 0,075 mm. A Class A Pan evaporimeter and a thermohygrograph were set up in the tunnel. A weather station sited 500 m from the tunnel supplied the data for the Penman, Penman-FAO and Class A pan evaporimeter out of the tunnel. The results allowed the conclusions: 1. evapotranspiration are very lower in than out of the tunnel, and was highly correlated to evapotranspiration measured through Penman, Penman-FAO and Classe A Pan out of the tunnel; 2. air temperature and relative humidity in the tunnel were lightly higher than those out the tunnel, 3 and 2.3%, respectively; 3. the Penman-FAO data were lower than those obtained from the Penman (25%) and Classe A Pan out of the tunnel (5.4%); 3. the evapotranspiration reference in a plastic tunnel can be evaluate through measurements obtained from weather stations.

**KEYWORDS:** Penman, Penman-FAO, Class A Pan.

**3. INTRODUÇÃO**

Para cada condição de clima, a aptidão de uma cultura em utilizar as reservas de água do solo é diferente. Interferem a profundidade do sistema radicular, sua densidade, o poder de enraizamento em interação com as características hidrodinâmicas do solo e os fatores intrínsecos de cada planta. Como o sistema solo-planta-atmosfera é contínuo e dinâmico, o "status" de energia da água da planta encontra-se em constante desequilíbrio com o solo e a atmosfera. Logo, para a ocorrência de transporte de água do solo para a atmosfera, passando pela planta, ou seja, da transpiração, há necessidade de um gradiente de potencial ao longo de todo o sistema. Adicionando-se a água evaporada pelo solo, a evaporação, tem-se a evapotranspiração (Klar, 1974). A avaliação do consumo de água de uma cultura é de fundamental importância do ponto de vista agrícola, principalmente considerando-se que os recursos hídricos disponíveis são limitados, mormente nas zonas áridas e semi-áridas.

Quando a água se encontra facilmente disponível às plantas, a evapotranspiração é regida por fatores ligados à atmosfera. A medida em que o potencial de água do solo decresce, fatores de planta e do solo interferem decisivamente.

A evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) é a máxima perda de água de uma cultura, onde as condições de umidade do solo e de manejo agrônômico não sejam restritivas ao ótimo crescimento e desenvolvimento em qualquer estágio de seu ciclo ( Doorenbos e Kassan, 1979); a evapotranspiração do cultivo de referência (ET<sub>o</sub>) representa a demanda a que está sujeita uma área coberta com grama (p.ex.: grama batatais, *Paspalum notatum*, L.), em desenvolvimento ativo e sem restrições de umidade do solo (Sediyama, 1988).

Fórmulas empíricas para se avaliar ET<sub>o</sub> têm sido desenvolvidas, sem ter-se conseguido definir qual ou quais seriam mais consistentes em quaisquer condições climáticas ou mesmo naquelas específicas e outros aspectos como o custo decorrente, em termos de recursos hídricos, para a produtividade das culturas, mormente em condições áridas e semi-áridas. A evapotranspiração é dependente da disponibilidade de água do solo, da energia disponível para vaporizá-la, da capacidade do ar para transportá-la, além do tipo de solo e de planta a considerar (Klar,1988). Allen (1986), avaliando diversos métodos, verificou que aqueles devidos à Penman, Penman-Monteith, Penman-FAO, Thom-Oliver e Penman-Kimberly propiciaram boas estimativas diárias da evapotranspiração de referência; constatou, ainda, que a equação de Penman-FAO proporcionou um valor médio 15% superior, quando comparada à evapotranspiração de um cultivo de referência com grama em lisímetros de precisão (Coshocton, USA) e 25% mais elevada para gramínea de porte alto nos valores obtidos no lisímetro de pesagem de Davis, CA, USA. A equação de Penman subestimou a ET real nas condições áridas de Kimberly - Idaho-USA, sendo esta subestimativa atribuída ao baixo valor de *b<sub>w</sub>* utilizado na equação de Penman. Pode-se afirmar que a equação de Penman-FAO proporciona dados confiáveis para diversas situações, embora em condições extremas de vento necessite de ajustes (Doorenbos e Pruitt, 1975).

Devido às dificuldades de obtenção dos dados, não existentes em qualquer posto meteorológico, necessários para configurar os métodos combinados de cálculo, tem-se utilizado e dado ênfase àqueles mais baratos e de fácil acesso, como os evaporímetros, em que se sobressaiu o tanque Classe A, principalmente pela grande disseminação por todo o mundo, o que favorece a extrapolação e a comparação dos resultados. O tanque envolve todo o complexo energético responsável pela evaporação (Klar, 1988). Doorenbos e Pruitt, (1975), apresentaram uma tabela para a determinação de um parâmetro denominado coeficiente de tanque (*K<sub>p</sub>*) que, multiplicado pelo valor da evaporação do tanque, estima a evapotranspiração de referência (E<sub>to</sub>).

O cultivo de plantas em casas de vegetação remonta o fim do renascimento, porém sem envolver aspectos econômicos. A partir de meados do século passado, este tipo de construção adquiriu maior importância do ponto de vista técnico e econômico com a produção do vidro em chapa e o progresso das estruturas metálicas. Aspectos ligados ao custo e ao retorno econômico das culturas ampliaram o uso das casas de vegetação.

Farias et al. (1993), estudando os efeitos de temperatura e umidade relativa do ar provocados pelo uso de estufa plástica, não verificaram diferenças marcantes entre as temperaturas médias por decêndio observadas nos dois ambientes, variando de -1 a 1,4 °C para os valores internos.

Observou, ainda, que o efeito da cobertura plástica é maior sobre as temperaturas máximas. Este comportamento foi verificado também por Martin et al. (1982) e Tanaka & Genta (1983), que atribuem este fato à íntima relação da temperatura com a radiação solar, ao menor volume de ar a ser aquecido e ao eficiente efeito das estufas, impedindo o resfriamento do ambiente causado pela ação dos ventos. Quanto à umidade relativa, os

mesmos autores comentam que os valores observados internamente ficaram na maior parte do período de condução do experimento, um pouco superiores aos observados a céu aberto. Estes valores mais elevados de umidade relativa no interior da estufa, ocorreram, principalmente durante à noite, quando a mesma não ficou completamente fechada, retendo o vapor d'água neste ambiente, uma vez que o filme plástico é praticamente impermeável ao vapor d'água (Robledo & Martin, 1981). A queda de temperatura, bastante acentuada, verificada entre os períodos noturno e diurno no interior da estufa, também contribuiu para que maiores valores de umidade relativa fossem atingidos pela redução de saturação de vapor d'água no ar (Seeman, 1979; Martines Garcia, 1978). Atualmente, as lonas plásticas facilitaram sobremaneira a instalação e o manuseio das casas de vegetação, fazendo-as proliferar em todo o mundo. Acrescente-se que nelas podem-se criar ambientes artificializados mais propícios e econômicos ao desenvolvimento de culturas em qualquer época do ano. Assim, com este trabalho, objetivou-se avaliar a evapotranspiração de referência dentro de um túnel de plástico, utilizando-se de um tanque Classe A, comparando os resultados com aqueles obtidos em Posto Meteorológico pelo método de Penman, de Penman-FAO ajustado e de outro tanque Classe A.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O tanque Classe A foi instalado num túnel de plástico, em que havia um experimento com uma cultura de alface, com as dimensões de 24m de comprimento por 8m de largura e altura em sua parte central de 4 m. Sua sustentação é feita por arcos metálicos e a lona plástica tinha a espessura de 0,075 mm. A estrutura lateral é de madeira ( sarrafos de 6,5x2,5 cm de seção). Os arcos metálicos são separados de 2m e sustentados por colunas metálicas de 1,5m de altura e seção de 6,5x2,5 cm. As partes frontal e traseira do túnel são formadas por quadros de madeira, fechados com o mesmo filme plástico. As laterais possuíam cortinas plásticas enroláveis, que só eram fechadas quando havia risco de chuvas.

O clima da região, segundo a classificação de Köepen, é Cfa, ou seja, temperado chuvoso com quatro ou mais meses consecutivos com temperaturas médias superiores a 10°C, sendo a temperatura média do mês mais quente de 22 °C. A altitude do local é de 750 m e o declive do terreno é de 8% com orientação voltada ao Sul.

O tanque Classe A foi instalado num estrado de madeira com 15 cm de altura, pintado de branco, colocado no interior do túnel. Foi feito com aço galvanizado, tendo 1,20 cm de diâmetro e 25 cm de altura.

Um micrômetro de gancho, com sensibilidade para medir variações de até 0,02 mm, foi instalado num poço tranquilizador de 25 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Para melhor caracterizar o ambiente foi instalado um termohigrógrafo em abrigo padrão. Utilizou-se dos valores de Kp, propostos por Doorenbos e Pruitt (1975), para a obtenção da evapotranspiração de referência pelo Tanque Classe A ( EToA). Kp varia com a cobertura do solo em torno do tanque, a umidade relativa e a velocidade do vento. Assim, EToA = ETA x Kp, sendo ETA a evaporação do tanque, que integra todos os elementos climáticos responsáveis pela demanda evaporativa da atmosfera.

O posto meteorológico, de onde foram coletados os dados, está localizado na

área experimental do Campus a uma distancia de 500 m do local do experimento.

No presente trabalho, foi utilizada a fórmula de Penman original (Pe) e a modificada conforme proposta de Doorenbos e Pruitt (1975). Estes autores incrementaram o método em precisão através dos termos da equação estimada por um fator de correção calculado a partir de valores de radiação solar, velocidades de vento diários (das 7 às 19 h), umidade relativa máxima diária e a relação entre as velocidades do vento do dia e da noite. A esta equação denominou-se de Penman-FAO ajustada (PF).

A análise estatística foi realizada através de correlações entre os 33 valores (12/09 a 14/10/94) do tanque Classe A do túnel (Td) com aqueles obtidos pelos métodos de Penman, de Penman-FAO ajustado e do tanque Classe A do Posto Meteorológico (Tf).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico da Figura 1 apresenta os dados das temperaturas médias obtidas dentro e fora da estufa. Os valores das temperaturas médias obtidas nos dois ambientes ficaram muito próximos, havendo uma diferença de 3% para os valores internos, concordando com os resultados obtidos por Farias et al. (1993).

O gráfico da Figura 2 apresenta os valores obtidos das umidades relativas médias registradas dentro e fora da estufa. O valor médio observado no interior da estufa foi de 55,40% e externo de 53,10% diferindo portanto, de 2,3%. Estes valores internos maiores, concordam com o trabalho de Farias et al. (1993). Esta diferença pode ser devido em parte, a queda da temperatura ocorrida entre períodos noturnos e diurnos no interior da estufa e pela redução da tensão de saturação de vapor d'água no ar (Seeman, 1979; Martinez- Garcia, 1986).

Os gráficos das Figuras 3 e 4 apresentam os dados relativos aos tanques e aqueles obtidos pelos métodos de Penman e de Penman-FAO ajustado. Os dados demonstram que a evaporação estimada pelo tanque Classe A dentro do túnel foi sensivelmente mais baixa do que o do tanque fora dela, numa proporção significativa: 93%. A diferença foi maior ao se comparar com o método de Penman, em que este mostrou-se 130% maior, em média. Os dados obtidos pelo método de Penman-FAO ajustado foram 83% maiores, em média. Esta significativa diferença deve-se principalmente, à ausência de ventos.

Com relação às radiações globais (G) e difusas (Gd), Ricieri (1995), em condições de céu coberto, encontrou que os valores médios entre as relações  $G_{in}/G_{ex}$  (global dentro do túnel/global fora do túnel) tiveram uma média de 0,5523 e as relações  $G_{din}/G_{dex}$  ( radiação difusa interna/radiação difusa externa ) mostraram um valor médio de 0,5215. Encontrou, ainda, valores médios em torno de 0,6534 para  $G_{in}/G_{ex}$  e 1,1340 para  $G_{din}/G_{dex}$ , em condições de céu limpo ou de pequena difusividade. Os dados deste autor foram obtidos em estufa tipo túnel coberta com polietileno de espessura de 0,150 mm e sob as mesmas condições de latitude e altitude deste experimento. Seus resultados mostram a grande interferência da cobertura na radiação que chega às plantas e ao solo dentro de um túnel de plástico, mormente no que se refere à radiação difusa, quando as reflexões internas tornam-se importantes, conforme pode-se aquilatar pelos coeficientes, principalmente sob céu limpo, em que a relação 1,1340 para

G<sub>din</sub>/G<sub>dex</sub> indica um significativo aumento na difusividade dentro do túnel.

O túnel sofre interferências da estrutura, simetria da cobertura, tipos de laterais, condições de umidade do ar no interior, tempo de proteção e limpeza do polietileno, que interferem na transmissibilidade do material e, por conseqüência, nas reflexões internas. Stanhill (1966) verificou que a intensidade da radiação solar difusa no interior de uma casa de vegetação pode variar de 14 a 36% só em função da estrutura da cobertura. A água condensada na superfície interna do material de cobertura pode ocasionar efeito importante na transmissão da radiação solar. Cálculos baseados na equação de Fresnel mostram que este fenômeno pode reduzir a reflexão de uma lâmina em 20% para todos os ângulos de incidência (Bowmann, 1970). Canham (1969) determinou valores de 0 a 36% de perda de luz devido à condensação interna. O ângulo de incidência também é importante, conforme relatam Sasso et al., (1985), que, em vários materiais testados, verificaram que a energia transmitida diminuiu significativamente com o ângulo de incidência da radiação solar sobre a cobertura. Das considerações feitas, pode-se inferir que a interferência da radiação de ondas curtas é significativamente decrescida dentro de túneis de polietileno, que a interferência da de ondas longas torna-se mais intensa sob céu aberto ou limpo e, a menor evapotranspiração dentro do túnel deve-se também à ausência de ventos e à maior umidade relativa do ar. No entanto, ocorrem maiores temperaturas nas casas de vegetação, justamente devido à maior incidência das radiações difusas. Considerando-se todos os fatores envolvidos, responsáveis pela evapotranspiração das plantas, os valores obtidos pelo tanque Classe A, dentro do túnel, significativamente menores que os mostrados pelo tanque no posto meteorológico e pelos métodos de cálculo, pode-se inferir que as plantas deverão ter menor demanda evaporativa da atmosfera dentro que fora do túnel de polietileno.

O Quadro 1 mostra as equações de regressão e as correlações entre os valores de evapotranspiração obtidos pelo tanque Classe A dentro com os de fora do túnel e com aqueles auferidos pelo método de Penman e de Penman-FAO ajustado. Também as correlações entre os dados obtidos entre T<sub>f</sub> e P<sub>e</sub>, T<sub>f</sub> e P<sub>F</sub> e entre P<sub>e</sub> e P<sub>F</sub> foram altamente significativas, 0,90\*\*, 0,87\*\* e 0,91\*\*, respectivamente. Conforme pode-se aquilatar, os resultados demonstram a possibilidade de se avaliar a evapotranspiração de referência dentro do túnel por medições em postos meteorológicos próximos.

**QUADRO 1** - Equações de regressão e correlações obtidas a partir do dados de evapotranspiração do Tanque Classe A dentro do túnel (T<sub>d</sub>), com os estimados no Tanque Classe A fora do túnel (T<sub>f</sub>), Penman e Penman-FAO ajustado (P<sub>F</sub>).

Equações de Regressão e Correlações	
T <sub>f</sub> = 2,50 + 1,11 T <sub>d</sub>	r = 0,59 **
P <sub>e</sub> = 2,59 + 1,38 T <sub>d</sub>	r = 0,60 **
P <sub>F</sub> = 2,97 + 0,86 T <sub>d</sub>	r = 0,60 **

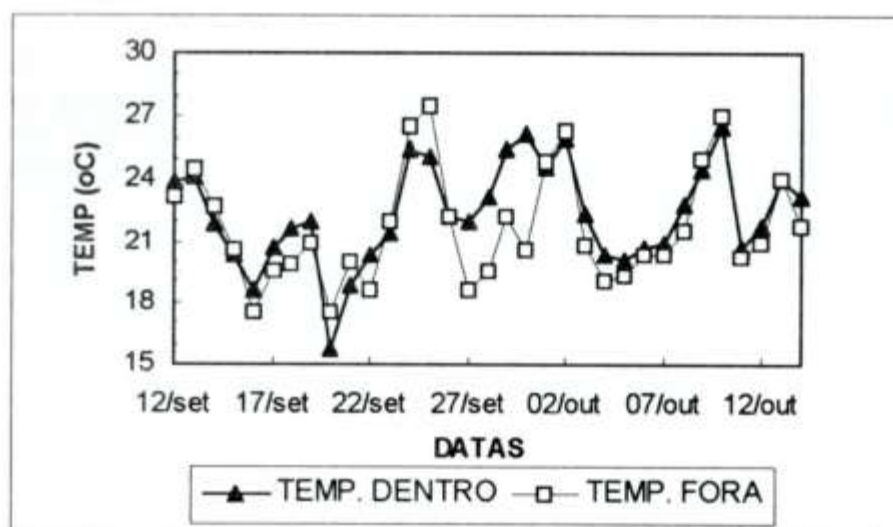


FIGURA 1. Valores médios de temperaturas observadas no interior e fora da estufa.

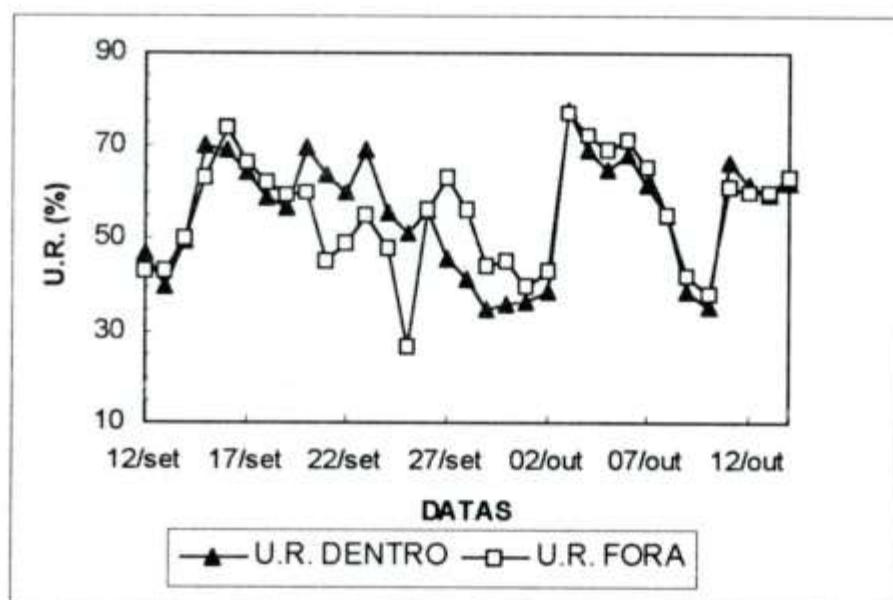


FIGURA 2. Valores médios de umidade relativa do ar observados no interior e fora da estufa.

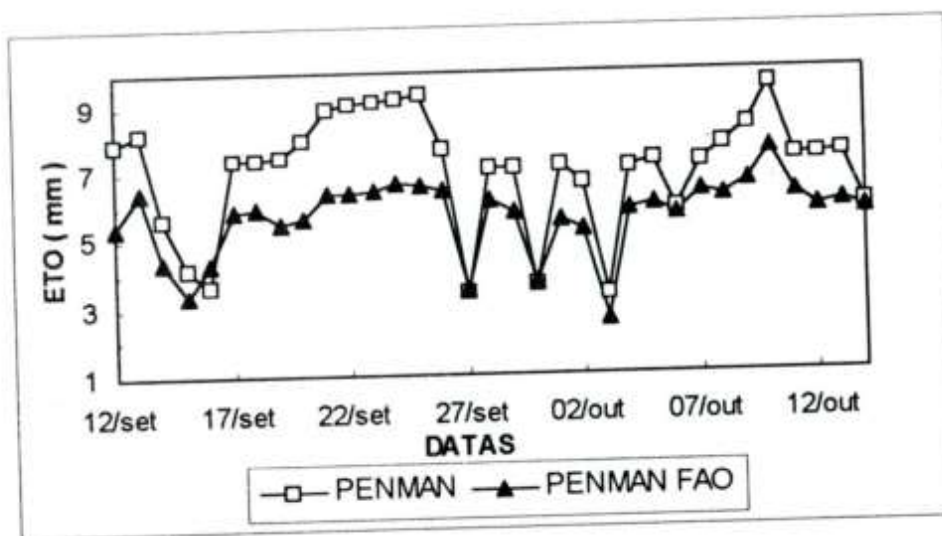


FIGURA 3. Valores de evapotranspiração pelos métodos de Penman e Penman-FAO.

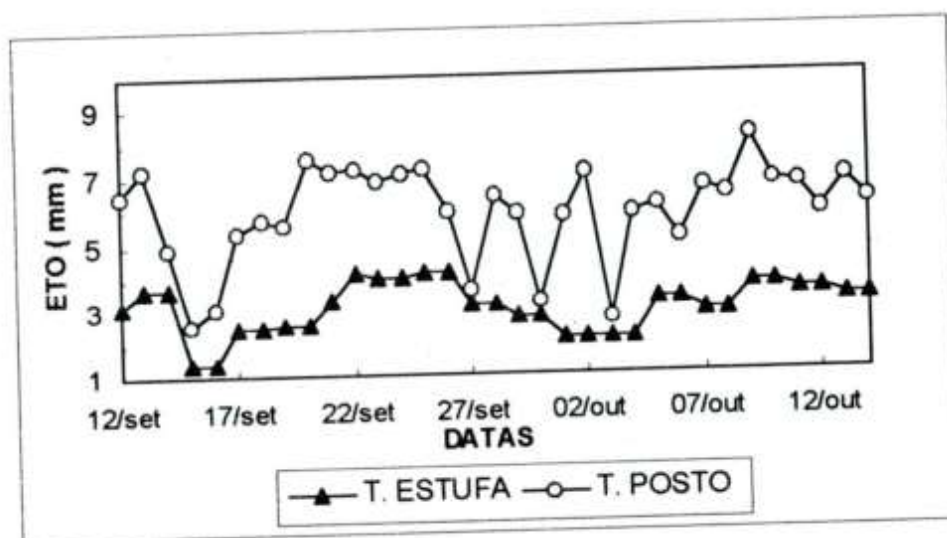


FIGURA 4. Valores observados de evapotranspiração pelos métodos do Tanque Classe A dentro e fora da estufa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. A Penman for all seasons. *J. Irrig. Drain. Eng.*, v.112, p. 348-69, 1986.

BOWMANN, G.E. The transmission of diffuse light by a sloping roof. *J. Agric. Eng. Res.*, v. 15, p. 100-5, 1970.



- CANHAM, A.E. Air-supported plastic structures: materials and design factors. *J. Agric. Eng. Res.*, v.12, p 226-30, 1969.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A.H. *Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos*. Roma: Estudio FAO, 1979. 212p.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Roma: Estudio FAO, 1975. 179p.
- FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S.R. et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v.1, p.51-62, 1993.
- KLAR, A.E. *A água no sistema solo-planta atmosfera*. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p. 171p (Tese de Livre-Docência) UNESP.
- KLAR, A.E. *A influência do solo e do clima na cultura da cebola*. Botucatu, 1974. 171p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- MARTIN, E.C., NOVOA, A.C., GOMES, S.J. Estudio comparativo de las propiedades de diversos materiales utilizados como cubierta en cultivos protegidos. *Rev. Plást. Mod.*, v.308, p.185-9, 1982.
- MARTINES GARCIA, P.F. *Características climáticas de los invernaderos de plástico*. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 48 p. Hoja Técnica, 19. 1978.
- ROBLEDO, F.P., MARTIN, L.V. *Aplicación de los plásticos en la agricultura*. Madrid: Mundi-Prensa. 1981. 52 p.
- SASSO, P., MANERA, C., DALL SASSO, P. Spectoradiometry measurements of some glasshouse cladding materials. *Colt. Prottete*, v.14, p.37-43, 1985.
- SEDIYAMA, G. C. *Necessidade de água para os cultivos*. Brasília: ABEAS, 1988. 143p.
- SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: SEEMAN, J. et al. *Agrometeorology*. Berlin: Springer-Verlag. p. 165-78, 1979
- STANHILL, G. Diffuse sky and cloud radiation in Israel. *Sol. Ener.*, v.10, p.96-101, 1966.
- TANAKA, M., GENTA, H. Comparación de la temperatura en diferentes sistemas protegidos y materiales de cobertura de cultivos de primor. Salto: Estación Experimental de Citricultura, *Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerges"*, 1983. 24p.