

EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO INTERIOR DE ESTUFAS PLÁSTICAS

EVAPOTRANSPIRATION INSIDE PLASTIC GREENHOUSES

José Renato Bouças Farias¹, Homero Bergamaschi² e Sérgio Roberto Martins³

RESUMO

A cobertura plástica da estufa altera o balanço de radiação e o balanço energético, com relação ao exterior. Em consequência, altera também a evapotranspiração. O presente trabalho teve por objetivo comparar as evapotranspirações dentro e fora da estufa plástica. O experimento foi conduzido no Campus da Universidade Federal de Pelotas, de setembro/89 a janeiro/90, em estufa plástica, com área de 500m², revestida com polietileno de baixa densidade, de 0,1mm de espessura e transmissividade média à radiação solar global de 83%. A evapotranspiração de referência (*ET_o*) foi estimada pelo método de Penman e a partir de medidas de evaporação em tanque Classe A e em um tanque reduzido (diâmetro interno de 0,20m e altura de 0,25m). Os maiores valores de *ET_o* foram obtidos pelo método de Penman e os menores pelo tanque Classe A. Comparando os resultados obtidos entre os dois ambientes, verificou-se que a *ET_o* interna foi sempre menor, ficando entre 45% e 77% da verificada na parte externa. As estimativas de *ET_o* interna, a partir do tanque reduzido, apresentaram elevadas correlações com as obtidas pelo tanque Classe A (r de 0,84 a 0,90).

Palavras-chave : Evapotranspiração; estufa plástica.

SUMMARY

The plastic cover for greenhouse alters the radiation and energetic balances as compared to the external environment. As a consequence the evapotranspiration is also altered. The objective of this work

¹ Eng° Agr°, Dr. CNPSo/EMBRAPA, Cx. Postal 1061, CEP 86001-970. Londrina, PR.

² Eng° Agr°, Dr., Fac. Agronomia/UFRGS, Cx. Postal 776, 91501-970, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

³ Eng° Agr°, Dr., Fac. Agronomia Eliseu Maciel/UFPel. Cx. Postal 353, 96001-307, Pelotas, RS. Bolsista do CNPq.

was to compare the evapotranspirations occurring inside and outside plastic covered greenhouse. The experiment was performed at the Federal University of Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul State, South Brazil, from September 1989 to January 1990, using a 500 m² greenhouse, covered with a low density 0.1 mm thick polyethylene (PEBD) with average transmissibility to global solar radiation of 83%. The reference evapotranspiration (*ET_o*) was estimated by Penman method as well as by use of evaporation measurements in "class A" pan and in a reduced pan (20 cm internal diameter and 25 cm deep). The highest values for *ET_o* were obtained by the Penman method and the lowest values by the "class A" pan. Comparing the results obtained in the two environments it was found that the internal *ET_o* was always lower, remaining between 45% and 77% of the external *ET_o*. The estimates of the internal *ET_o* obtained by the reduced pan method had high correlations with the ones obtained by "class A" pan (r from 0.84 to 0.90).

Key words - Evapotranspiration; greenhouse; plastic covering.

INTRODUÇÃO

A cobertura plástica da estufa altera o balanço de radiação e o balanço energético, com relação ao exterior. Em consequência, altera também a evapotranspiração (PRADOS, 1986).

No interior da estufa, a evapotranspiração é, em geral, menor do que a verificada externamente, o que atribui-se, basicamente, à parcial opacidade da cobertura plástica à radiação solar e à redução da ação dos ventos, que são os principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera. A diferença entre a evapotranspiração interna e externa varia de acordo com as condições meteorológicas; em geral, a evapotranspiração no interior fica em torno de 60-80 % da verificada no exterior (VAN DER POST et al, 1974; MONTERO et al, 1985; PRADOS, 1986; ROSENBERG et al, 1989).

No estudo da evapotranspiração em estufas, são poucos os trabalhos que têm medido a evapotranspiração de referência segundo definem DOOREMBOS & PRUITT (1976), como meio de estimar o consumo de água das culturas (PRADOS, 1986). Lisímetros cultivados com gramíneas (em geral, com festuca), têm sido usados em estudos de evapotranspiração no interior de estufas plásticas (CHIARANDA & ZERBI, 1981; GRAAF, 1981; STANGHELLINI, 1981; PRADOS, 1986) e diferentes tipos de evaporímetros têm sido empregados na estimativa da evapotranspiração em estufas (LAKE et al, 1966; GUTTORMSEN, 1974). O emprego do tanque Classe A tem sido escasso (CHIARANDA & ZERBI, 1981), desaconselhável (VESCAMBRE & VAYSSE, 1980) ou recomendado (MONTERO et al, 1985;

PRADOS, 1986).

Trabalhando com tomateiro em estufas com cobertura de polietileno de baixa densidade (PEBD), PRADOS (1986) concluiu que a similaridade entre os valores obtidos de K , produto de Kp (coeficiente de tanque) com Kc (coeficiente de cultura), com os valores de Kc encontrados na bibliografia, induzem a pensar que o coeficiente de tanque (Kp) deve ser muito próximo de 1,0, valor superior aos citados para condições ao ar livre (DOORENBOS & PRUITT, 1976). No mesmo trabalho, obteve uma elevada correlação ($r = 0,86$ a $0,99$), para períodos semanais de evapotranspiração de referência, entre valores calculados por diversos métodos e a evaporação em tanque Classe A (E_o), em períodos de demanda evaporativa considerada média ($E_o > 12$ mm/semana). Para períodos semanais de baixa demanda ($E_o < 12$ mm/semana), a correlação baixou consideravelmente ($r = 0,40$ a $0,64$). Para períodos bissemanais, os valores das correlações foram mais elevados ($r = 0,95$ a $0,99$). Concluiu que, para estufas, o método do tanque evaporimétrico com coeficientes de tanque iguais a 1,0, juntamente com os métodos da radiação solar (FAO) e de Priestley-Taylor, são os melhores para estimar a evapotranspiração de referência no interior de estufas. Comparando os valores de evaporação em tanque Classe A, ocorridos no interior e no exterior da estufa, obteve correlação de 0,38 e 0,86, para períodos semanais de baixa e alta demanda evaporativa, respectivamente, e 0,96 para períodos de duas semanas.

Segundo BOULARD et al (1990), os processos de evaporação e condensação tem influência direta no microclima de uma estufa e, conseqüentemente, na sua capacidade de propiciar condições satisfatórias às culturas.

Considerando que as coberturas plásticas criam condições bastante diferentes daquelas encontradas a céu aberto, e que são impermeáveis aos líquidos, impedindo a entrada da água da chuva, torna-se extremamente importante um melhor conhecimento das exigências hídricas das plantas no interior de estufas, uma vez que a irrigação será, na grande maioria das vezes, a única forma de suprimento de água às culturas e poderá afetar alguns elementos meteorológicos muito importantes ao desenvolvimento das plantas, como temperatura e umidade relativa do ar. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo quantificar e comparar as evapotranspirações de referência, obtidas por diferentes métodos, dentro e fora da estufa plástica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de setembro de 1989 a janeiro de 1990, no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), localizado no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, à latitude de $31^{\circ}52'32''$ Sul, longitude de $52^{\circ}21'24''$ Oeste e altitude de 13 m acima do nível do mar. Utilizou-se uma

estufa plástica do tipo "capela", com área de 500 m² (10 x 50 m) e volume aproximado de 1275 m³, disposta no sentido norte-sul, com estrutura de madeira (eucalipto) e cobertura de filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), com aditivo antiultravioleta e espessura de 0,1 mm. As laterais da mesma eram móveis, permitindo total abertura ou fechamento, conforme a necessidade. A estufa foi mantida completamente fechada durante a noite (das 18 às 8 horas) e aberta, lateralmente, de dia (das 8 às 18 horas).

Durante o período de observações, o interior da estufa encontrava-se cultivado com feijão-vagem (cultivar Favorito Ag-480), do grupo macarrão e de crescimento indeterminado.

No interior da estufa quantificou-se a evaporação em tanque "classe A", instalado no centro da estufa, diariamente, às 9 h, ao longo do período de condução do experimento, e, ainda, em um tanque reduzido, com menores dimensões do que o anterior (diâmetro interno de 0,2m e altura de 0,25m), cujos resultados foram comparados com os obtidos no tanque "classe A". No interior da estufa, determinou-se, também, a umidade relativa e a temperatura do ar, com auxílio de um termohigrógrafo, instalado em abrigo meteorológico no centro da mesma, a 1,5m do solo.

Durante o período experimental, as mesmas observações coletadas no interior da estufa foram também obtidas na parte externa. Para isto, utilizaram-se os dados determinados na Estação Agrometeorológica da UFPel/EMBRAPA, situada cerca de 600m do local do experimento.

A evapotranspiração de referência foi obtida a partir das leituras realizadas nos tanques de evaporação e determinadas pelo método de Penman. Para os tanques instalados no interior da estufa utilizaram-se os coeficientes de tanque (K_p) recomendados por PRADOS (1986) ($K_p = 1,0$ para o interior de estufas plásticas) e os apresentados por DOORENBOS e PRUITT (1976). Para a obtenção da evapotranspiração de referência a partir da evaporação no tanque "classe A" instalado no exterior da estufa, utilizaram-se os K_p definidos por DOORENBOS e PRUITT (1976).

Para a estimativa da evapotranspiração de referência pelo método combinado de Penman (PENMAN, 1948), empregou-se a seguinte equação:

$$ET_o = \frac{\left(\frac{\gamma}{g}\right) \left(\frac{R_n}{59}\right) + Ea}{1 + \left(\frac{\gamma}{g}\right)} \quad (1)$$

onde γ é a constante psicrométrica (0,66 mb.°C⁻¹); R_n o saldo de radiação (cal.cm⁻².dia⁻¹); E_a o termo aerodinâmico e Δ a tangente à curva de tensão de saturação, determinada pela equação apresentada por WRIGHT (1982):

$$\Delta = 33,8639 [0,05904(0,00738T + 0,8072) - 3,42 \times 10^{-5}] \quad (2)$$

Sendo T a temperatura média do ar (°C).

Rn foi estimada, para superfície gramada, a partir da seguinte expressão, obtida por BERGAMASCHI e GUADAGNIN (1990):

$$Rn = 18,81 + 0,69 R_s \quad (3)$$

sendo que a radiação solar global (R_s) no interior da estufa, foi estimada em 0,83 da medida no exterior da mesma (FARIAS et al, 1993). Para a estimativa da evapotranspiração externa, utilizou-se o valor de R_s observado nesse ambiente.

O termo aerodinâmico E_a (mm.dia^{-1}), foi determinado pela equação:

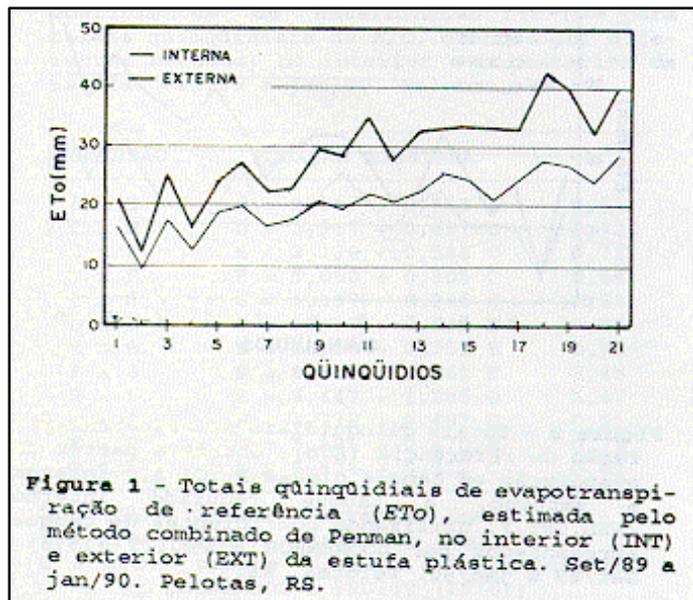
$$E_a = 0,35(e_o - e)(0,5 + 0,01 u_2) \quad (4)$$

onde u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura em milhas.dia^{-1} , e o déficit de saturação do vapor d'água do ar ($e_o - e$) em mmHg. No interior da estufa, a velocidade do vento foi estimada em 5% da verificada no exterior (PRADOS, 1986).

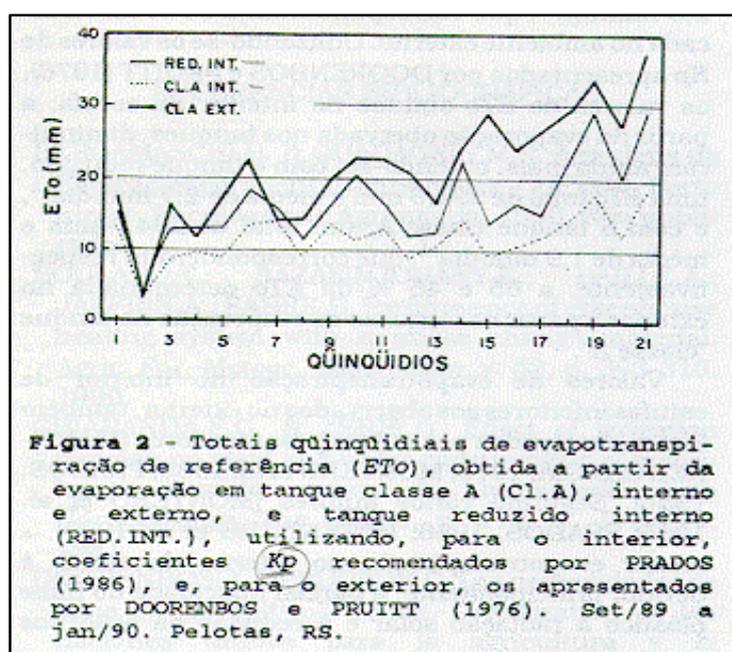
Os valores a serem apresentados e discutidos correspondem a apenas 107 dias ao longo de todo experimento, uma vez que muitos dados diários não foram considerados por não terem sido feitas as observações em um dos ambientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, são apresentados os totais quinqüidiais dos valores estimados de ET_o , no interior e exterior da estufa, pelo método combinado de Penman. Observa-se que a ET_o estimada para o exterior pelo método de Penman foi sempre superior à verificada no interior, tendo-se encontrado uma ET_o no exterior de 617,9 mm, com média de $5,8 \text{ mm.dia}^{-1}$, ao passo que no interior, estimou-se a ET_o em 439,5 mm, ficando a média em $4,1 \text{ mm.dia}^{-1}$. Comparando-se os resultados obtidos entre os dois ambientes, verifica-se que a ET_o no interior correspondeu a 71 % da verificada no exterior da estufa plástica.

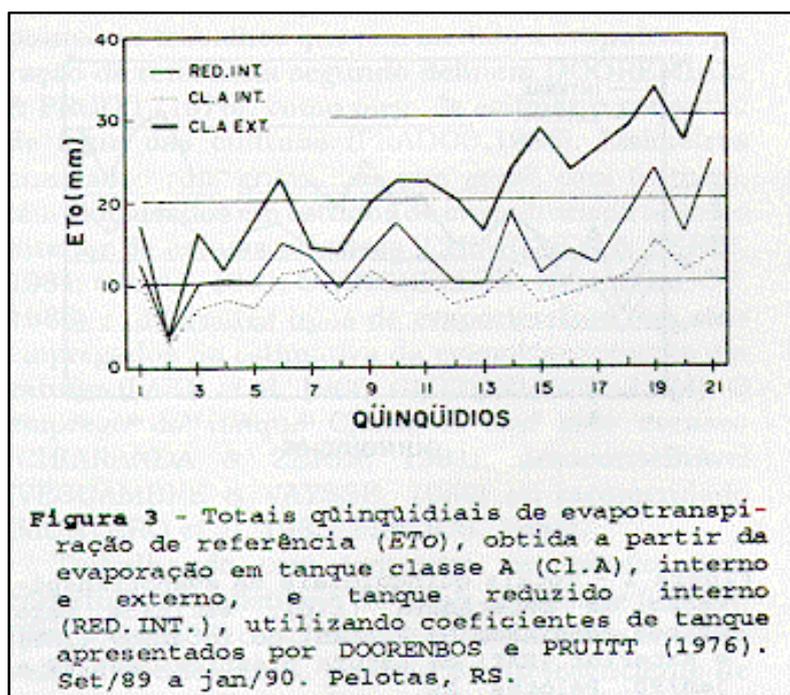


Nas Figuras 2 e 3, são apresentados os valores de ET_o obtidos a partir das leituras nos tanques de evaporação, nos dois ambientes, utilizando-se, respectivamente, os coeficientes de tanque (K_p) recomendados por PRADOS (1986) para o interior de estufas plásticas ($K_p=1,0$) e os apresentados por DOORENBOS e PRUITT (1976), em função da velocidade do vento, umidade relativa do ar e área tampão. Observa-se que a ET_o obtida no exterior foi superior à obtida no interior da estufa, nos dois tanques e com diferentes coeficientes K_p . Somente quando utilizou-se o K_p recomendado por PRADOS (1986), verificou-se, em dois pontos, totais quinquidiais de ET_o no interior, obtida a partir do tanque reduzido, levemente superiores aos encontrados no exterior (Figura 2).



Com o tanque classe A, obteve-se no exterior uma ET_o total de 450,2 mm, com média de 4,2 mm.dia⁻¹. No interior da estufa, empregando-se o K_p igual a 1,0 (PRADOS, 1986), obteve-se, com o tanque reduzido, uma ET_o total de 348,1 e média de 3,3 mm.dia⁻¹, que representaram cerca de 77% da ET_o verificada no exterior. Com o tanque classe A, foram obtidos no interior, uma ET_o total de 243,9 mm, com média de 2,3 mm.dia⁻¹, que corresponderam a 54 % da verificada no ambiente externo. Utilizando-se os valores de K_p apresentados por DOORENBOS e PRUITT (1976), os valores de ET_o obtidos no interior da estufa, a partir da evaporação observada nos tanques, diminuíram ainda mais, obtendo-se, com o tanque reduzido, uma ET_o total de 291,5 mm e média de 2,7 mm.dia⁻¹, e com o tanque classe A, um total de 204,0 mm e média de 1,9 mm.dia⁻¹, que corresponderam, respectivamente, a 65 e 45 % da ET_o determinada no exterior a partir das leituras de evaporação no tanque "classe A".

Valores de evapotranspiração no interior de estufas inferiores aos observados no exterior, também foram observados por outros pesquisadores (MARTINEZ GARCIA, 1978; MONTERO et al, 1985; PRADOS, 1986). Segundo vários autores (MONTERO et al, 1985; PRADOS, 1986; ROSENBERG et al, 1989), a menor evapotranspiração no interior da estufa é devido, principalmente, à parcial opacidade do filme plástico à radiação solar e à redução da ação dos ventos, que são os principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera, embora a temperatura do ar e a umidade relativa, em alguns momentos, possam ser, respectivamente, maior e menor no interior da estufa do que a céu aberto, o que contribuiria para maior evapotranspiração.

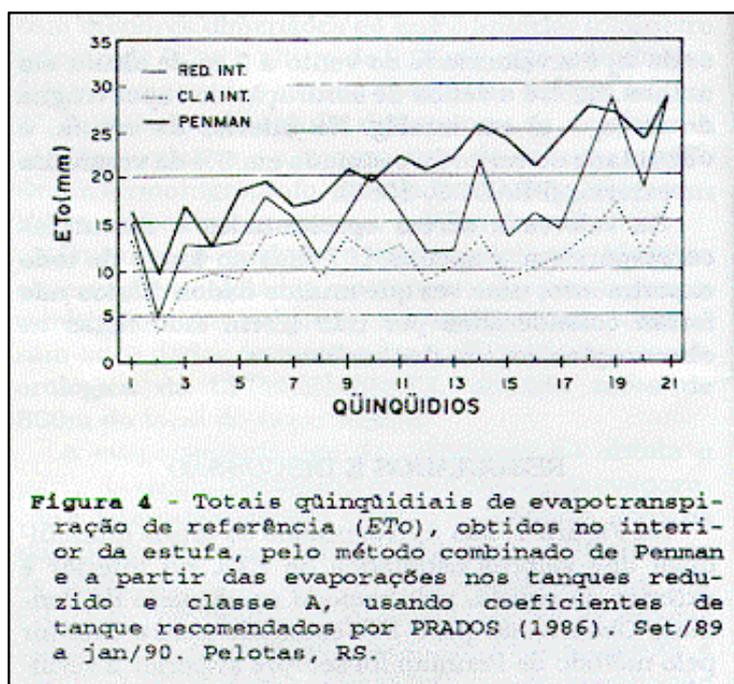


Nas Figuras 2 e 3 observa-se, também, que, enquanto no exterior a ET_o aumentou com a

elevação da temperatura do ar em consequência da aproximação do verão, o mesmo não se verificou, na mesma intensidade, no interior da estufa, principalmente nas medidas no tanque Classe A, o que, talvez, deva-se à tendência de elevação da umidade relativa do ar no interior da estufa com o aumento da transpiração em função da área foliar. Verifica-se ainda que, em nenhum quinquídio, a evapotranspiração interna foi superior à externa.

Analisando-se ainda as Figuras 2 e 3, verifica-se que os valores obtidos no tanque reduzido foram superiores aos obtidos na tanque classe A dentro da estufa. Segundo GUTTORMSEN (1974), a evaporação normalmente decresce com o aumento da superfície de água, devido a fatores aerodinâmicos e às diferenças na transferência de energia entre a superfície de água e a atmosfera. O uso de iguais coeficientes Kp , para ambos os tanques, não foi conveniente, uma vez que resultou grandes diferenças entre as estimativas de ET_o a partir das evaporações observadas internamente nos dois tanques.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os valores de ET_o obtidos no interior, pelo método combinado de Penman e a partir das leituras de evaporação nos tanques reduzido e classe A, utilizando-se os Kp recomendados por PRADOS (1986) e por DOORENBOS e PRUITT (1976), respectivamente. Verifica-se que, na maior parte do período, os valores de ET_o obtidos pelo método de Penman, foram superiores aos determinados a partir da evaporação nos tanques, com exceção de dois pontos, onde os totais quinquidiais de ET_o obtidos a partir do tanque reduzido e com Kp igual a 1,0, foram um pouco superiores aos obtidos pelo método de Penman.



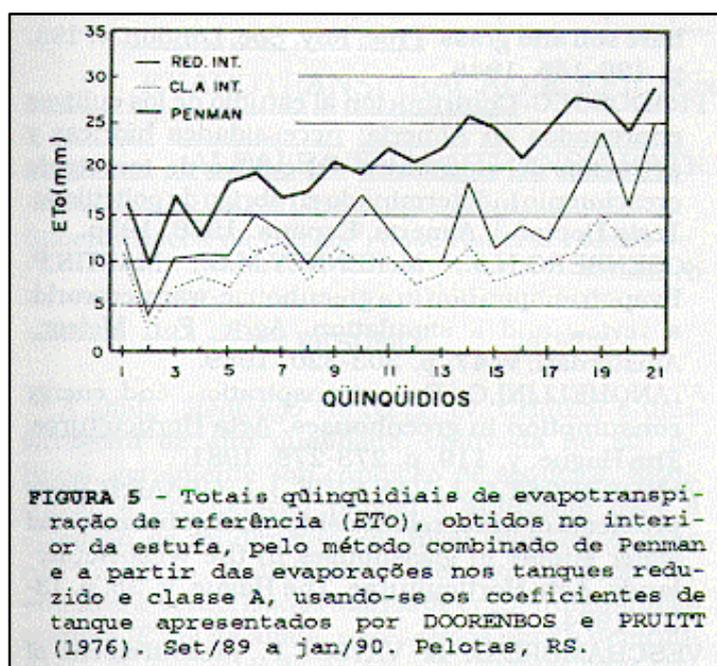


FIGURA 5 - Totais quinquidiais de evapotranspiração de referência (ETO), obtidos no interior da estufa, pelo método combinado de Penman e a partir das evaporações nos tanques reduzido e classe A, usando-se os coeficientes de tanque apresentados por DOORENBOS e PRUITT (1976). Set/89 a jan/90. Pelotas, RS.

Visando-se determinar a relação existente entre os totais quinquidiais de ETO, obtidos nos dois ambientes, a partir das medidas de evaporação nos tanques reduzido e Classe A, e pelo método combinado de Penman, foram feitas análises de regressão linear simples. Na Tabela 1 são apresentadas as equações obtidas na análise dos valores quinquidiais e os respectivos coeficientes de determinação (r^2).

Tabela 1 - Equações de regressão e respectivos coeficientes de determinação (r^2), para totais quinquidiais de ETO, obtidos por diferentes métodos, no interior e no exterior da estufa. Set/89 a jan/90. Pelotas, RS.

REGRESSÃO	EQUAÇÃO AJUSTADA	r^2
A x B *	$B = 2,897 + 0,613 A$	0,95
C x D	$D = 2,917 + 0,637 C$	0,72
C x E	$E = 2,118 + 0,544 C$	0,71
C x F	$F = 5,080 + 0,305 C$	0,54
C x G	$G = 4,397 + 0,248 C$	0,53
D x B	$B = 10,17 + 0,649 D$	0,59
E x B	$B = 10,50 + 0,751 E$	0,58
F x B	$B = 8,610 + 1,061 F$	0,48
G x B	$B = 8,447 + 1,285 G$	0,47
D x F	$F = 3,372 + 0,497 D$	0,81
E x G	$G = 3,195 + 0,470 E$	0,79
C x A	$A = 9,871 + 0,912 C$	0,82

*A = ETO - Penman - exterior (mm);
 B = ETO - Penman - interior (mm);
 C = ETO - tanque classe A - exterior (mm) - K_p DOORENBOS e PRUITT (1976);
 D = ETO - tanque reduzido - interior (mm) - $K_p=1,0$;
 E = ETO - tanque reduzido - interior (mm) - K_p DOORENBOS e PRUITT (1976);
 F = ETO - tanque classe A - interior (mm) - $K_p=1,0$;
 G = ETO - tanque classe A - interior (mm) - K_p DOORENBOS e PRUITT (1976).

Observa-se que as correlações entre os valores de *ET_o* interna e externa, obtida pelo método de Penman foram bastante altas. Porém, comparando-se os valores de *ET_o* obtidos, interna e externamente, a partir das medidas de evaporação nos tanques, observa-se que as correlações baixaram bastante, sendo as menores correlações obtidas na relação entre as *ET_o* obtidas nos tanques classe A, interno e externo. Pode-se observar, também, que o uso dos distintos coeficientes de tanque praticamente não alteraram os valores de r^2 obtidos.

Comparando-se os valores de *E_{to}* obtidos no interior da estufa pelo método de Penman e pelo uso dos tanques de evaporação, observa-se que os coeficientes de determinação (r^2) ficaram em torno de 0,59 e 0,48, para as relações entre Penman e tanque reduzido, e entre Penman e tanque classe A, respectivamente. No exterior, a correlação observada entre Penman e tanque classe A foi bem maior, ficando o valor de r^2 em 0,82.

Comparando-se as observações do tanque reduzido com as do tanque Classe A, ocorridas no interior da estufa plástica, observa-se que a correlação entre elas foi bem elevada ($r^2= 0,79$ a $0,81$), indicando a possibilidade do uso do tanque reduzido, no interior da estufa, para estimar a evapotranspiração, ao invés do tanque Classe A. O uso deste tanque reduzido no interior de estufas, com dimensões bem inferiores ao classe A, parece mais aconselhável por ocupar menor área e contribuir menos para elevar a umidade relativa do ambiente, além de ter menor custo e de ser mais prático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGAMASCHI, H. & GUADAGNIN, M.R. Agroclima da Estação experimental agronômica / UFRGS. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia. 1990. Não publicado.
- BOULARD, T.; RAZAFINJOHANY, E.; BAILLE, A.; JAFFRIN, A.; FABRE, B. Performance of greenhouse heating system with a phase change material. Agric. For. Meteorol., Amsterdam, v. 52, p. 303-318, 1990.
- CHIARANDA, F.G. & ZERBI, G. Effect of irrigation regimen on yield and water consumption of greenhouse tomato grown in lysimeters. Acta Horticulturae, The Hague, v. 119, p. 179-190, 1981.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, Organization de las naciones unidas para la agricultura y la alimentacion, FAO. 1976. 194p. (Estudio FAO: Riego y drenaje, 24)
- FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R. e BERLATO, M.A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993.

- GRAAF, R. de. Transpiration and evapotranspiration of the glasshouse crops. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 119, p. 147-158, 1981.
- GUTTORMSEN,G. Effects of root medium and watering on transpiration, growth and development of glasshouse crops: II. The relationship between evaporation pan measurements and transpiration in glasshouse crops. **Plant and Soil**, The Hague, v. 40, p. 461-478, 1974.
- LAKE,J.V.; POSTLETHWAITE,J.D.; SLACK,G. & EDWARDS,R.I. Seasonal variation in the transpiration of glasshouse plants. **Agr. Meteorol.**, Amsterdam, v. 3, p. 187-196, 1966.
- MARTINEZ GARCIA,P.F. **Características climáticas de los invernaderos de plástico**. Madrid, Espana, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias - INIA. 1978. 43p. (Hoja Tecnica 19)
- MONTERO,J.I.; CASTILLA,N.; GUTIERREZ de RAVÉ,E.; BRETONES,F. Climate under plastic in the Almeria. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 170, p. 227-234, 1985.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. Roy. Soc. London**, v. 193, p. 120-145, 1948.
- PRADOS,N.C. **Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almeria: necesidades hídricas y extracción del nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno**. Tesis Doctoral. Almeria, Espana. 1986. 195p.
- ROSENBERG,N.J.; McKENNEY,M.S.; MARTIN,P. Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and a simulation. **Agric. For. Meteorol.**, Amsterdam, v. 47, p. 303-320, 1989.
- STANGHELLINI,C. Evapotranspiration and energy consumption in greenhouses. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 119, p. 273-279, 1981.
- VAN DER POST,C.J.; VAN-SHIE,J.J.; GRAAF,R. Basic problems of water relationship: energy balance and water supply in glasshouses in the West-Netherlands. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 35, p. 13-21, 1974.
- VESCHAMBRE,D. & VAYSSE,P. Measurement of evaporation in glasshouses for determining the water requirements of plants. **Horticulture**. v. 14, p. 207-221, 1980.
- WRIGHT,J.L. New evapotranspiration crop coefficients. **J.Irrig. and Drain.**, New York, v. 108, p. 57-74, 1982.