



Semina: Ciências Agrárias

ISSN: 1676-546X

semina.agrarias@uel.br

Universidade Estadual de Londrina

Brasil

Burck Duarte, Georgea Rita; Schöffel, Edgar Ricardo; Gonzalez Mendez, Marta Elena;  
Aires de Paula, Viviane

Medida e estimativa da evapotranspiração do tomateiro cultivado sob adubação orgânica  
em ambiente protegido

Semina: Ciências Agrárias, vol. 31, núm. 3, julio-septiembre, 2010, pp. 563-573  
Universidade Estadual de Londrina  
Londrina, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744097005>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

# Medida e estimativa da evapotranspiração do tomateiro cultivado sob adubação orgânica em ambiente protegido<sup>1</sup>

## Measure and estimation of the evapotranspiration of tomato plants cultivated with organic fertilization in protected ambient

Georgea Rita Burck Duarte<sup>2</sup>; Edgar Ricardo Schöffel<sup>3\*</sup>;  
Marta Elena Gonzalez Mendez<sup>3</sup>; Viviane Aires de Paula<sup>4</sup>

### Resumo

O presente trabalho teve por objetivos determinar o consumo hídrico do tomateiro com adubação orgânica e avaliar as estimativas da evapotranspiração e do coeficiente de cultura (Kc) em ambiente protegido, com o uso dos métodos do Tanque Classe A, Radiação Solar, Penman e Penman-Monteith. O experimento foi conduzido de setembro de 2004 a janeiro de 2005, no Campus da Universidade Federal de Pelotas. A adubação do solo consistiu de duas doses de vermicomposto bovino. A cultivar Floradade foi transplantada em 4/11 no espaçamento de 0,50 x 0,70 m. Na região central da estufa foi instalado um sistema automático de aquisição de dados para a recepção dos sinais dos sensores meteorológicos instalados no ambiente. Para determinação do consumo hídrico da cultura, empregou-se o método do balanço hídrico do solo associado ao uso de evapotranspirômetro, construído no centro da estufa. O consumo hídrico do tomateiro, nos 88 dias de cultivo, foi de 477 mm. As estimativas da evapotranspiração de referência pelos métodos do tanque Classe A, da Radiação solar e de Penman apresentaram alta precisão e concordância com os valores medidos da evapotranspiração da cultura. A evapotranspiração de referência apresentou valores próximos da evapotranspiração da cultura ao longo do período de cultivo com o uso dos métodos do tanque Classe A, Radiação solar e Penman, mantendo o Kc médio de 0,95; 1,02 e 1,01 respectivamente, enquanto que para o método de Penman-Monteith o Kc médio foi de 1,41.

**Palavras-chave:** *Lycopersicon esculentum*, consumo hídrico, evapotranspiração de referência, estufa, coeficiente de cultura

### Abstract

The present work had the aim of determining the water consumption for tomato crop cultivated in protected ambient under organic fertilization and of evaluating the estimates of evapotranspiration and of crop coefficients (Kc) in greenhouse, with the use of the methods Class A Pan, Solar Radiation, Penman and Penman-Monteith. The experiment was carried out from September/2004 to January/2005, at the Campus of Universidade Federal de Pelotas, Brazil. The organic fertilization of the soil consisted of two doses of vermicompost from bovine manure, and 'Floradade' tomato plants were transplanted in 4/11/2004, with 0.50 x 0.70 m spacing. In the central part of the greenhouse, a datalogger was installed in order to receive the signals originated from the agrometeorological sensors installed in the greenhouse.

<sup>1</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora.

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, Dra., Profa. Faculdades Atlântico Sul. E-mail: georgearita@ig.com.br

<sup>3</sup> Engenheiro(a) Agrônomo(a), Dr.(a), Prof.(a) Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPEL), Caixa Postal 354, Pelotas, RS, CEP 96010-900. E-mail: ricardo\_schoffel@ufpel.edu.br ; marta@ufpel.edu.br

<sup>4</sup> Engenheira Agrônoma, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFRGS. E-mail: vivianeadp@yahoo.com.br

\* Autor para correspondência

In order to determine the water consumption of the plants, the method of water balance of the soil was used associated to evapotranspirometers, constructed in the central of the polyethylene greenhouse. The water consumption of the tomato plants in the 88 days of cultivation was of 477 mm. The estimation of the evapotranspiration for the methods Class A Pan, Solar Radiation and Penman, presented high precision and had agreement with the measured values of the crop evapotranspiration. The reference evapotranspiration presented values close to the crop evapotranspiration during the crop growth with the use of the methods Class A Pan, Solar Radiation and Penman, with  $K_c$  values of 0.95; 1.02; and 1.01, respectively, while for the Penman-Monteith method the  $K_c$  was 1.41.

**Key words:** *Lycopersicon esculentum*, water consumption, reference evapotranspiration, greenhouse, crop coefficient

## Introdução

A utilização de estufas com cultivo orgânico de hortaliças é adequada às características das pequenas propriedades com gestão familiar, seja pela diversidade de espécies cultivadas em uma mesma área ou, ainda, pela menor dependência de insumos externos e maior utilização de mão-de-obra (SOUZA; RESENDE, 2003). Além disso, a adubação orgânica ativa a vida microbiana e melhora as propriedades físicas do solo, disponibiliza nutriente e estimula a absorção de água e nutrientes (MORSELLI, 2001), por consequência, altera a capacidade de retenção de água no solo (TIBAU, 1984) e isto afetará a disponibilidade de água às plantas.

O cultivo agrícola em ambientes protegidos possibilita a obtenção de condições micrometeorológicas adequadas aos cultivos e permite a introdução de modelos de cultivos eficientes na produção de hortaliças. Em geral, a evapotranspiração dos cultivos no interior de um ambiente protegido (estufa plástica) é menor do que externamente, devido à redução na velocidade do vento proporcionada pela cobertura e à attenuação da radiação solar pela cobertura plástica com consequências diretas no balanço de radiação e no balanço de energia. Para Prados (1986), Rosenberg (1983) e Braga e Klar (2000) a evapotranspiração no interior fica em torno de 60% a 80% daquela verificada fora de estufa plástica.

A quantidade de água aplicada na irrigação pode ser medida ou estimada com base na evapotranspiração ou a partir do balanço de água no

solo. Nesse sentido, os experimentos devem buscar, portanto, soluções práticas para determinação da evapotranspiração em diferentes condições, locais e ambientes (PEREIRA; VILLA NOVA; SIDIYAMA, 1997).

Para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) a FAO – Food Agriculture Organization, no seu Boletim nº 24 (DOORENBOS; PRUITT, 1984), recomenda os métodos: do tanque Classe A, de Penman e da Radiação Solar. Posteriormente, no Boletim nº 56 (ALLEN et al., 1998), a FAO indica o método de Penman-Monteith como sendo o mais preciso, principalmente quando o índice de área foliar (IAF) estiver acima de 2 (ORTEGA-FARÍAS et al., 2004; VALDÉS et al., 2004).

Utilizando o método do tanque Classe A para condições de ambiente protegido cultivado com tomateiro, Prados (1986) observou que o uso dos coeficientes de tanque ( $K_p$ ) e de cultivo ( $K_c$ ) proporcionaram correções ao valor de evaporação muito próximo de 1,0 e isso indica que, nessas condições, o uso desses coeficientes podem ser eliminado. Nesse mesmo trabalho, foi observada alta correlação ( $r = 0,86$  a  $0,99$ ), para períodos semanais de ETo e a evaporação em tanque Classe A (ECA), em períodos de demanda evaporativa considerada média ( $ECA > 12 \text{ mm semana}^{-1}$ ). Para períodos semanais de baixa demanda ( $ECA < 12 \text{ mm semana}^{-1}$ ), a correlação baixou consideravelmente ( $r = 0,40$  a  $0,64$ ).

Em ambiente protegido o  $K_c$  pode sofrer influência da interação entre tipo de estrutura,

fatores meteorológicos e método de estimativa de ETo, sendo necessário, sua determinação para cada cultura e local de cultivo. A magnitude dos valores de evapotranspiração máxima da cultura e do coeficiente de cultura para as condições do ambiente natural, como os determinados para alface (BECKER, 1990), tomateiro (LIMA; LEAL; SETUBAL, 1994; AMAYREH; AL-ABED, 2005; REIS; SOUZA; AZEVEDO, 2009), abóbora italiana (LUNARDI; KLOSOWWSKI; SNDANIELO, 1999) ou os indicados para diferentes hortaliças, não são adequados para serem utilizados diretamente no ambiente parcialmente modificado de uma estufa (CARON; HELDWEIN, 2000).

Segundo Carrijo e Oliveira (1997), os valores de  $K_c$  recomendados para o cultivo do tomate em ambiente protegido são 10% menores do que os indicados por Doorenbos e Pruitt (1984) para o cultivo a campo. Sendo assim, há necessidade de determinação deste coeficiente para a cultura do tomateiro sob adubação orgânica em ambiente protegido. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivos determinar o consumo hídrico da cultura do tomateiro e avaliar as estimativas da evapotranspiração e do coeficiente de cultura em um ambiente protegido cultivado com tomateiro, sob sistema orgânico durante a primavera-verão, com o uso dos métodos do Tanque Classe A, Radiação Solar – FAO/24, Penman e Penman-Monteith.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido de outubro de 2004 a janeiro de 2005 em uma estufa plástica modelo Teto em Arco, de área total de 180m<sup>2</sup>, coberta com filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD) de 0,15 mm de espessura, localizada na área experimental da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPel) (31°52'S, 52°21'W e altitude de 13 m). O solo local é classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico Solódico (PINTO et al., 1999).

Utilizou-se como adubo orgânico um vermicomposto bovino, na forma sólida, cujas propriedades químicas foram previamente determinadas. A adubação para a cultura do tomate foi determinada de acordo com as indicações da Rolas (2004), com base na análise química do solo, sendo que a dose (2,85 kg de vermicomposto m<sup>-2</sup>) de adubação orgânica foi determinada a partir do elemento limitante ao cultivo do tomateiro, neste caso o K<sub>2</sub>O. Com vistas a aumento na qualidade e na produtividade foi fornecido à cultura o dobro da dose recomendada pela análise de laboratório, ou seja, 5,70 kg de vermicomposto m<sup>-2</sup>. Utilizaram-se 15 parcelas experimentais (canteiro), de 4,5 m<sup>2</sup>, em que cada parcela recebeu a mesma quantidade de adubo.

Foi utilizada a cultivar Floradade, americana de hábito de crescimento determinado e frutos tipo salada, a qual foi semeada no dia 14/09/2004, em bandejas de poliestireno expandido. A adubação orgânica dos canteiros foi efetuada duas semanas antes do transplante, sendo que esse foi realizado no dia 04/11/2004, quando as plântulas apresentaram 5 folhas definitivas. Cada parcela experimental foi coberta com filme plástico preto (mulching) de 50 µm, o que permitiu melhor controle no manejo da irrigação e evitou a necessidade de capinas.

O espaçamento adotado foi de 0,50 m entre plantas e 0,70 m entre linhas, dispostas em duas linhas por parcela, totalizando 16 plantas por parcela. Procedeu-se o tutoramento das plantas com a utilização de fita rafia, dispostas verticalmente até 2 m acima do solo. Durante o cultivo foram efetuadas poda de limpeza e eliminação de brotos laterais que surgiram nas axilas de cada folha e na parte vegetativa do prolongamento dos cachos florais.

O manejo da irrigação da cultura foi fundamentado na avaliação da disponibilidade de água no solo considerando os valores da curva característica de retenção de água no solo previamente obtida para o local. Na elaboração dessa curva, foram utilizadas

12 amostras de solo, nas quais foram aplicados o método da mesa de tensão (KIEHL, 1979) e o método de câmara de pressão de Richards (KLUTE, 1986).

A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo, ou seja, tensão de água no solo entre -0,1 e -0,3 atm, sendo verificada através de sensores eletrônicos de medida de potencial matricial e tensiômetros instalados na profundidade de 0,30 m, os quais permitiram monitorar continuamente a umidade do solo. Para quantificação da água a ser irrigada utilizou-se a curva de retenção de água de cada tratamento, a qual relaciona a umidade volumétrica e a tensão de água presente no solo. Dessa forma, as irrigações foram realizadas quando a tensão de água no solo atingiu -0,3 atm, sendo que a quantidade de água aplicada correspondeu à água evapotranspirada entre duas leituras consecutivas, de modo a manter a umidade do solo na capacidade de campo. A contabilização do balanço hídrico do solo foi determinada individualmente em três evapotranspirômetros, os quais consistiram de canteiros revestidos por filme plástico em suas paredes e fundo, com dimensões correspondendo ao tamanho das demais parcelas (4,5 m x 1,0 m) e 0,5 m de profundidade. Esse acompanhamento do balanço hídrico permitiu a obtenção do consumo hídrico da cultura do tomate, em cada estádio do desenvolvimento das plantas. Utilizou-se um sistema de irrigação localizado (gotejamento), composto de mangueiras flexíveis de polietileno, com gotejadores espaçados em 0,20 m, acompanhando as duas linhas de cultivo do tomateiro.

O ambiente foi mantido aberto durante o dia, entre as 8:00 h e as 17:00 h, para permitir a renovação do ar e evitar a elevação excessiva da temperatura e umidade relativa do ar. Na região central da estufa plástica foi instalado um sistema de aquisição de dados (modelo 21XL, Campbell Scientific), através do qual foram recebidos os sinais procedentes dos diferentes sensores meteorológicos instalados no interior do ambiente protegido. Esse sistema de aquisição de dados foi programado para realizar

leituras dos sensores em intervalos de 10 segundos, com médias agrupadas a cada 15 minutos.

A temperatura foi monitorada continuamente através de dois sensores de medida (termistor modelo 107, Campbell Scientific) sendo um para leitura da temperatura bulbo seco e outro para leitura de temperatura bulbo úmido, instalados a 2,0 m acima do solo, no centro do ambiente.

A umidade relativa do ar (UR, em %) foi obtida por:

$$UR = 100 \frac{ea}{es}$$

Com a tensão de vapor, estimada através das equações propostas por Tetens:  $ea = es' - \gamma (T - T')$ ;  $es' = 0,61 \cdot 10^{[(7,5T^2)/(237,3 + T^2)]}$ ;  $es = 0,61 \cdot 10^{[(7,5T)/(237,3 + T)]}$ ; em que: T é a temperatura média do bulbo seco (°C); T' é a temperatura média do bulbo úmido (°C);  $\gamma$  é a constante psicométrica (0,066 kPa C<sup>-1</sup>); es é a tensão de saturação de vapor a temperatura bulbo seco (kPa); es' é a tensão de saturação de vapor a temperatura bulbo úmido; (kPa); ea é a tensão atual de vapor (kPa).

A velocidade do vento foi medida continuamente por um anemômetro Met One modelo 014A-L34, instalado a 2,0 m acima do solo e no centro do ambiente enquanto que a medida da radiação solar global no interior do ambiente protegido foi realizada através de conjuntos de tubos solarímetros durante todo o período de cultivo do tomate. Os tubos solarímetros empregados foram construídos artesanalmente conforme modelo proposto por Steinmetz e Miori (1997). Esses tubos solarímetros foram instalados entre as linhas de cultivo, nos três evapotranspirômetros localizados na região central da estufa.

Foram utilizados dois tubos solarímetros, sendo que um tubo foi instalado acima do dossel vegetativo, para medida da radiação solar global incidente (Rs),

e outro tubo instalado acima do dossel vegetativo, porém, com o elemento sensor voltado para baixo, para medida da radiação solar refletida superfície (Rr). O fluxo de calor no solo (G) foi obtido seguindo a proposta de Wright e Jensen (1972) pela equação:

$$G = 0,38 (T - T_{da})$$

onde T é a temperatura média do ar do dia e  $T_{da}$  é a temperatura média do ar no dia anterior.

O saldo de radiação (Rn) no ambiente foi estimado a partir da radiação solar global medida e com o emprego de uma equação, com  $r^2 = 0,92$ , obtida na mesma estufa plástica por Beckmann

(2004), utilizando a cultivar de tomateiro Floradade, em cultivo de verão. A equação utilizada foi:

$$Rn = 0,6875 Rs - 0,119$$

A evaporação da água dentro do ambiente protegido foi medida diariamente, entre 8:30h e 9:00h, em um tanque Classe A instalado sobre estrado de madeira a 0,15 m da superfície do solo.

A Evapotranspiração de Referência (ETo) foi estimada através de quatro métodos: Método do Tanque de Evaporação Classe A; Método da Radiação Solar – FAO/24, Método de Penman e Método de Penman-Monteith (PEREIRA; VILLA NOVA; SIDIYAMA, 1997), com as equações:

$$ETo = ECA$$

$$ETo = c (W \cdot Rs)$$

$$ETP = \frac{\left(\frac{\delta}{\gamma}\right) Rn + Ea}{\left(\frac{\delta}{\gamma}\right) + 1}$$

$$ETo = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (Rn - G) \frac{1}{L} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{(T + 275)} U_2 (es - ea)$$

Tanque classe A

Radiação Solar FAO/24

Penman

Penman – Monteith

onde:  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência ( $mm \cdot d^{-1}$ ); ECA é a evaporação do tanque Classe A; c é correção em função da umidade relativa do ar e da velocidade do vento; Rs é a radiação solar global ( $mm \cdot dia^{-1}$ ); W é um fator de ponderação dependente da temperatura bulbo úmido; Rn é o saldo de radiação ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ); Ea é o poder evaporante do ar;  $\delta$  é a tangente da curva de pressão de vapor ( $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ ); L é o calor latente de evaporação ( $MJ \cdot kg^{-1}$ );  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ );  $\gamma^*$  é a constante psicrométrica modificada ( $\gamma^* = \gamma (1 + 0,33 U_2)$ ); Rn é o saldo de radiação ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ); G é o fluxo de calor no solo ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ); T é a temperatura média do ar ( $^\circ C$ );  $U_2$  é a velocidade do vento a 2 m da superfície

( $m \cdot s^{-1}$ ); (es-ea) é o déficit de pressão de vapor (kPa); T' é a temperatura média do ar com bulbo úmido ( $^\circ C$ ).

sendo:  $\delta = \frac{4098 \cdot es}{(T + 237,2)^2}$

Viswanadham, Silva Filho e André (1991) propuseram as seguintes equações para cálculo do coeficiente W do método da Radiação Solar FAO/24:  $W = 0,407 + 0,0145 T'$ , quando  $0 < T' < 16^\circ C$ ; e  $W = 0,483 + 0,01 T$ , quando  $16,1 < T' < 32^\circ C$

A partir dos valores da ETc medida por balanço hídrico nos evapotranspirômetros e a

correspondente estimativa da ETo obtida por cada método foi determinado o coeficiente de cultura (Kc) do tomateiro nos estádios II, III e IV, nas condições micrometeorológicas do ambiente, ou seja, relacionando a ETc/ETo, para cada método de estimativa.

Ao longo do cultivo foram observados os estádios de desenvolvimento do tomateiro, conforme escala utilizada por Marouelli, Silva e Oliveira (1991): estádio I: da semeadura até o transplante; estádio II: do transplante até o florescimento; estádio III: floração até o início da maturação; estádio IV: maturação até a última colheita.

Para cada método de estimativa da ETo foram realizadas análises de regressão tendo como variável independente a ETo (estimada) e variável dependente a ETc (medida). A comparação entre esses métodos foi realizada quanto a exatidão, máxima a equação apresenta coeficientes linear ( $a = 0$ ) e angular ( $b = 1$ ); e quanto a precisão, máxima quando o coeficiente de determinação ( $r^2 = 1$ ).

## Resultados e Discussão

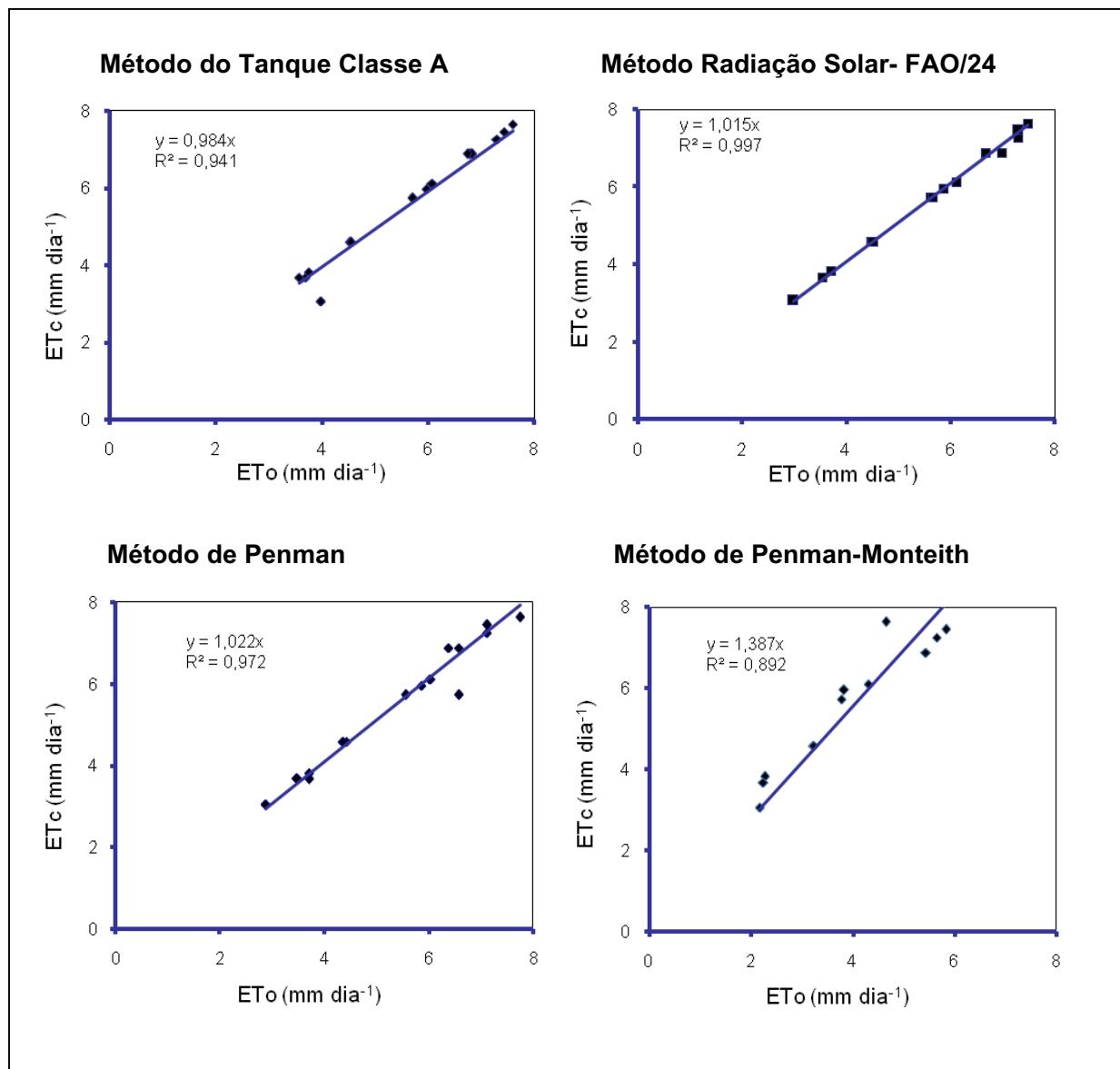
A evapotranspiração diária da cultura do tomateiro foi agrupada para períodos de dias referentes ao intervalo entre irrigações as quais foram manejadas de acordo com a tensão de água no solo indicada pelos tensiômetros. Nos 90 dias de cultivo foram efetuadas 19 irrigações as quais mantiveram a tensão entre  $-0,1$  e  $-0,3$  atm.

Considerando que a superfície vegetada pela cultura do tomateiro não sofreu restrições hídricas e que as plantas apresentaram desenvolvimento ativo e uniforme durante todo o período de cultivo é possível inferir que o consumo hídrico para todo o ciclo foi de 477 mm e máxima evapotranspiração da cultura nesse ambiente atingiu  $7,6 \text{ mm dia}^{-1}$ , observada durante a fase de maturação dos frutos (estádio IV), enquanto que o menor valor de evapotranspiração

foi de 3,0 mm, obtida nos primeiros dias após o transplante das plântulas (estádio II) para os canteiros definitivos. É importante destacar que, como a irrigação foi manejada de acordo com a tensão de água no solo, os dados de medida e de estimativa da evapotranspiração foram agrupados para intervalos variáveis de dias entre irrigações sucessivas, portanto, cada dado plotado na (Figura 1) refere-se à lâmina de água diária média de um período.

Em termos relativos, o menor consumo de água da cultura aconteceu quando as plantas estavam menos desenvolvidas (estádio II) e, portanto, possuíam menor superfície evapotranspirante (IAF de 0,08) e este consumo correspondeu a apenas 13% da água aplicada durante o ciclo do tomateiro. As plantas permaneceram no estádio III por 32 dias e nesse período consumiram 36% da água fornecida ao cultivo. No estádio IV, que teve duração de 35 dias, as plantas atingiram o maior índice de área foliar (0,77) o que exigiu maior consumo de água do ciclo, quando utilizaram 51% da água total.

Dentre os quatro métodos de estimativa da evapotranspiração de referência ETo, pode-se verificar (Figura 1) que as estimativas obtidas com os métodos da Radiação Solar FAO/24, de Penman e do Tanque Classe A proporcionaram ótima concordância com os valores medidos da evapotranspiração da cultura (ETc), cujas equações geradas dessa relação possuem valores de coeficiente angular da equação muito próximos da unidade e com coeficiente linear zero, o que denota alta exatidão. Além disso, a análise dos coeficientes de determinação das equações de relação entre evapotranspiração medida e estimada evidencia a alta precisão para estimativas da evapotranspiração da cultura principalmente a partir do método de Radiação Solar FAO/24 e do método de Penman (Figura 1), contrariando as críticas salientadas por Smith (1991) quanto a possíveis superestimativas do método de Penman em condições não advectivas.



**Figura 1.** Relação entre a evapotranspiração do tomateiro (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelos métodos do Tanque Classe A, Radiação Solar FAO/24, Penman e Penman-Monteith, em um cultivo orgânico no interior de um ambiente protegido. Pelotas, 2005.

Na comparação com os demais métodos, o método de Penman-Monteith apresentou a maior dispersão dos dados (Figura 1) e o menor coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,89$ ). Provavelmente, esse método tenha sofrido influência das alterações que ocorrem sobre os elementos meteorológicos que compõem o balanço de energia dentro do ambiente protegido, mas, sobretudo, no termo aerodinâmico da equação uma vez que a velocidade do vento no

interior do ambiente foi, quase sempre, insuficiente para superar a inércia do sensor. Isso indica que em condições de ausência ou pouco vento o método de Penman-Monteith considera, equivocadamente, que maior parte da energia disponível no ambiente tenha sido utilizada para aquecimento do ar (fluxo de calor sensível) e não na forma de calor latente para evapotranspiração ou consumo hídrico das plantas, subestimando-o. Esses resultados

corroboram aqueles obtidos por Duarte (2002) que em um cultivo de berinjela em estufa o  $r^2$  obtido com os dados do método de Penman-Monteith foi de apenas 0,68. Desta maneira, embora Allen et al. (1998) tenham recomendado a adoção do modelo de Penman-Monteith como padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), os resultados obtidos neste trabalho indicam que esse método pode não ser o mais adequado para estimar a evapotranspiração de cultivos no interior de ambiente protegido.

Diferenças entre métodos de estimativa da ETo em ambiente protegido também foram observadas por Duarte (2002) que ao cultivar berinjela em estufa plástica, em Pelotas/RS, verificou que o método de Penman foi aquele em que as estimativas mais se aproximaram da evapotranspiração da cultura, obtendo coeficiente de determinação de regressão ( $r^2$ ) de 0,92, enquanto que para o método da Radiação Solar o  $r^2$  foi de apenas 0,67. Em condições de campo no município de Viçosa (MG), Sedyama, Bernardo e Resende (1973) utilizaram alguns modelos para estimar a ETo e compararam essas estimativas com os valores medidos em evapotranspirômetro, e concluíram que para informações mensais ou longos períodos, os melhores métodos foram: Tanque Classe A ( $r^2=0,95$ ), Penman ( $r^2=0,94$ ) e Thorthwaite ( $r^2=0,92$ ). Ainda, ao avaliar a razão entre a ETc de duas cultivares de milho e a ETo estimada por vários

métodos, Andreatta (1990) conclui que a equação de Penman apresentou-se como a mais confiável.

Os coeficientes das equações obtidos com o emprego dos métodos do Tanque Classe A e Radiação Solar demonstram a possibilidade de utilização desses métodos para estimativa da ETo em ambiente protegido, tendo em vista a facilidade operacional e o baixo custo de investimento exigido por esses métodos. Entretanto, as considerações destes aspectos indicam a necessidade de ampliar e aprofundar pesquisas sobre este tema, para que permitam identificar qual o melhor método para a estimativa de ETo em ambiente protegido.

De acordo com os valores de coeficiente de cultura (Kc) (Tabela 1), a evapotranspiração de referência apresentou valores bastante próximos da evapotranspiração da cultura ao longo do período de cultivo. Quando a cultura estava no estádio II a correção no valor estimado da ETo foi maior para as estimativas obtidas a partir dos métodos do Tanque Classe A e de Penman-Monteith, enquanto que para os métodos da Radiação solar e Penman o Kc manteve-se próximo da unidade. Para os estádios III e IV, portanto na fase reprodutiva da cultura, os métodos do tanque Classe A, Radiação solar e Penman mantiveram valores de Kc próximo de um enquanto que Penman-Monteith novamente subestimou a ETc em aproximadamente 40%.

**Tabela 1.** Coeficientes de cultura (Kc) para diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) do tomateiro cultivado com adubação orgânica em ambiente protegido. Pelotas/RS.

Estádios Fenológicos	Coeficiente de Cultura (Kc)			
	Métodos de Estimativa ETo			
	TCA	RS	P	PM
<b>II</b>	0,85	1,02	1,00	1,42
<b>III</b>	1,00	1,03	1,03	1,43
<b>IV</b>	1,01	1,01	1,02	1,39
<b>Médio</b>	0,95	1,02	1,01	1,41

TCA=Tanque Classe A; RS= Radiação Solar FAO/24; P= Penman; PM= Penman-Monteith.

Muito embora acredita-se que o Kc apresenta estreita relação com o IAF, sendo maior quando é atingido o IAF máximo (PEREIRA; VILLA NOVA; SIDYAMA, 1997), os resultados obtidos neste trabalho reforçam aqueles obtidos por Prados (1986) de que a relação entre ETc/ETo, originadas de estimativas da ETo a partir do método do Tanque Classe A, em ambiente protegido, possa ser assumida como 1:1 e, ainda, sugerem que essa relação possa ser estendida também para os métodos da Radiação solar e de Penman. No entanto, quando Bezerra e Mesquita (2000) compararam a evapotranspiração do pimentão e a evapotranspiração estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Radiação Solar, os autores encontraram coeficientes de cultura diferentes em função do método de estimativa da ETo. Para o método de Penman-Monteith o Kc apresentou uma variação dos valores entre 0,46 a 1,40, e no método da Radiação Solar a variação foi entre 0,42 a 1,28. O coeficiente de cultura médio obtido em todo ciclo foi de 1,14 para o método de Penman-Monteith, e para o método da Radiação Solar o coeficiente de cultura médio foi de 1,01 para todo ciclo. Ainda, Dalsasso (1997) verificou, em cultivo com tomateiro em ambiente protegido, que os valores de Kc variaram entre 0,2 a 0,8 no período da primavera, e entre 0,2 a 1,5 no outono. Essa divergência entre resultados pode ser atribuída a uma possível variação do Kc com a época de cultivo e, também com as condições meteorológicas, pois estas determinam mudanças no manejo das cortinas laterais da estufa, com as quais são alteradas a taxa de renovação do ar e o tempo de ventilação natural.

## Conclusões

O consumo hídrico do tomateiro, sob cultivo orgânico em ambiente protegido, aumentou progressivamente com o desenvolvimento da cultura, atingindo valores máximos nos estádios III (floração) e IV (frutificação e colheita) e totalizando um consumo de 477 mm de água, desde o transplante até final do ciclo.

As estimativas da evapotranspiração de referência pelos métodos do tanque Classe A, da Radiação solar e de Penman apresentam alta precisão e concordância com os valores medidos da evapotranspiração do tomateiro cultivado em ambiente protegido.

Na fase reprodutiva o coeficiente de cultura (Kc) do tomateiro orgânico, em ambiente protegido, apresenta valor próximo de 1.

## Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO. 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMAYREH, J.; AL-ABED, N. Developing crop coefficients for fieldgrown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under drip irrigation with black plastic mulch. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 73, n. 3, p. 247-254, 2005.
- ANDREATTA, J. A. *Determinação da razão entre evapotranspiração máxima de dois cultivares de milho (*Zea mays* L.) e a evapotranspiração potencial*. 1990. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Departamento de Recursos Naturais. Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- BECKER, A. F. *Consumo d'água e coeficiente de cultivo de duas cultivares de Alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em Santa Maria*. 1990. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria..
- BECKMANN, M. Z. *Cultivo do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sob adubação orgânica em ambiente protegido*. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- BEZERRA, F. M. L.; MESQUITA, T. B. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultura do pimentão cultivado em lisímetro de drenagem. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.18, n. 3, p. 600-601, 2000.
- BRAGA, M. B.; KLAR, A. E. Evaporação e evapotranspiração de referência em campo e estufa orientadas nos sentidos norte-sul e leste-oeste. *Irriga*, Botucatu, v. 5, n. 3, p. 222-228, 2000.

- CARON, B. O.; HELDWEIN, A. B. Consumo d'água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 19-25, 2000.
- CARRIJO, O. A.; OLIVEIRA, C. A. S. *Irrigação de hortaliças em solos cultivados sob proteção de plástico*. Brasília: EMBRAPA-CNPH, 1997. 19 p. (Circular Técnica, 10).
- DALSASSO, L. C. M. *Consumo de água e coeficiente de cultura do tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill.) e do pepino (Cucumis sativus L.) cultivados em estufa plástica*. 1997. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Crop water requirements*. Rome: FAO, 1984. 144 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DUARTE, G. R. B. *Consumo hídrico da berinjela (Solanum melongena L.) em ambiente protegido: medida e estimativa através de métodos combinados*. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. 1979. 262 p.
- KLUTE, A. Water retention. In: CAMPBELL, G. S.; JACKSON, R. D.; HORTLAND; M. M.; MIEELSEN, D. R.; KLUTE, A. *Methods of soil analyses*. Madison: American Society Agronomic, 1986. p. 635-734.
- LIMA, M. G.; LEAL, F. R., SETUBAL, J. W. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura para tomateiro em Teresina – PI. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 29-35, 1994.
- LUNARDI, D. M. C.; KLOSOWWSKI, E. S.; SANDANIELO, A. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura de abóbora italiana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999. Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: EPAGRI/ SBAGRO, 1999. 1 CD-ROM.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; OLIVEIRA, C. A. S. Produção de tomate industrial sob diferentes regimes de umidade no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1531-537, 1991.
- MORSELLI, T. B. A. G. *Cultivo sucessivo de alface sob adubação orgânica em ambiente protegido*. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- ORTEGA-FARIAS, S.; CALDERON, R.; MARTELLI, N.; ANTONIOLETTI, R. Evaluacion de un modelo para estimar la radiacion neta sobre un cultivo de tomate industrial. *Agricultura Técnica*, Chillán, v. 61, n. 14, p. 41-49, 2004.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PINTO, L. F. S.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SOUSA, R. O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A. (Ed.). *Manejo do solo e da água em área de várzea*. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 1999. 201 p.
- PRADOS, N. C. *Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almería: necesidades hídricas e extracción de nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno*. 1986. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Producción Vegetal. Universidad de Almería, Almería. Espanha.
- REIS, L. S; SOUZA, J. L.; AZEVEDO, C. A. V. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 289-296, 2009.
- ROLAS. *Recomendação de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004. 224 p.
- ROSEMBERG, N. J. *Microclimate: the biological environment*. New York: John Wiley & Sons, 1983. 495 p.
- SEDIYAMA, G. C.; BERNARDO, S.; RESENDE, M. Estudos de métodos para estimativa de evapotranspiração potencial em Viçosa. *Experientia*, Viçosa. v. 16, n. 4, p. 61-79, 1973.
- SMITH, M. *Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements*. Roma: FAO, 1991. 45 p.
- SOUZA, J. L.; RESENDE, P. *Manual de horticultura orgânica*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 564 p.

STEINMETZ, S.; MIORI, P. R. B. Melhoria no sistema de vedação de tubos solarímetros construídos com placas de circuito impresso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba. *Anais...* Campinas: ESALQ/Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1997. p. 207-209.

TIBAU, A. O. Matéria orgânica do solo. In: \_\_\_\_\_. *Matéria orgânica e fertilidade do solo*. 3. ed. São Paulo: Nobel S.A, 1984. 49 p.

VALDÉS, H.; ORTEGA-FARÍAS, S.; ARGOTE, M.; LEYTON, B.; OLIOSO, A.; PAILLÁN, H. Estimation of

evapotranspiration over a greenhouse tomato crop using the Penman-Monteith equation. *Acta Horticultae*, Davis, v. 664, n. 1, p. 477-482, 2004.

VISWANADHAM, Y; SILVA FILHO; V. P.; ANDRE, R. G. B. The priestley-taylor parameter a for the amazon forest. *Forest Ecology Management*, Amsterdam, v. 38, n. 1, p. 211-225, 1991.

WRIGHT, J. L.; JENSEN, M. E. Peak water requirements of crops in Southern Idaho. *Journal Irrigation and Drainage*, Michigan, v. 98, n. 2, p. 193-201, 1972.