

Transpiração do tomateiro cultivado em substrato e sua influência na fração lixiviada e na condutividade elétrica da solução nutritiva drenada

Antonio José Steidle Neto^{1*}, Sérgio Zolnier² e Waldir Aparecido Marouelli³

¹Departamento de Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, Rod. MG 424, km 47, 35701-970, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. ²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ³Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: antonio@ufsj.edu.br

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da transpiração do tomateiro na fração lixiviada e na condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva percolada no substrato de areia, em cultivo realizado sob condições de casa-de-vegetação. Foram utilizadas duas técnicas de fertirrigação, sendo uma denominada de sistema de controle convencional e outra, de sistema de controle computadorizado. No sistema de controle convencional, a solução nutritiva foi aplicada em intervalos de tempo fixos entre eventos de fertirrigação. No outro sistema, a aplicação ocorreu de acordo com estimativas de transpiração que foram realizadas pelo algoritmo de controle do sistema computadorizado. Em dias nublados, a CE da solução nutritiva drenada diminuiu em ambos os sistemas, em decorrência da baixa transpiração e da alta fração lixiviada, o que amenizou a salinização do substrato. Entretanto, em altos valores de radiação solar, a CE aumentou devido à baixa lixiviação. Os resultados demonstraram que, em condições de nebulosidade, o sistema de controle computadorizado reduziu o volume de efluentes em 54% em relação ao sistema de controle convencional e, simultaneamente, impediu a salinização do substrato por meio da manutenção da CE média diária da solução drenada entre 2,9 e 3,5 dS m⁻¹.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum*, hidroponia, cultivo sem solo, fertirrigação, casa-de-vegetação.

ABSTRACT. Transpiration of tomato crop cultivated in substrate and its influence on the leaching fraction and electrical conductivity of the drained nutrient solution. The objective of this work was to evaluate the influence of tomato transpiration on the leaching fraction and electrical conductivity (EC) of the nutrient solution drained in the sand substrate under greenhouse growing conditions. Two fertigation techniques were used, one denoted by conventional control system and the other by computerized control system. In the conventional control system, the nutrient solution was applied by using fixed time intervals between fertigation events. In the other system, the application occurred according to transpiration estimates, which were performed by the control algorithm of the computerized system. Under cloudy conditions, the EC of the drained nutrient solution decreased in both systems as a result of low transpiration and high leaching fractions, which mitigated substrate salinization. However, under high values of solar radiation, EC increased due to low leaching fractions. The results demonstrated that, under cloudy conditions, the computerized control system reduced effluent volumes by 54% as compared to the conventional control system and, simultaneously, prevented substrate salinization by maintaining mean EC values of the drained solution in the range from 2.9 to 3.5 dS m⁻¹.

Key words: *Lycopersicon esculentum*, hydroponics, soilless cultivation, fertigation, greenhouse.

Introdução

As plantas absorvem água e nutrientes em taxas que variam significativamente com os estádios de desenvolvimento da cultura (KLÄRING et al., 1997) e com as condições climáticas do ambiente de cultivo (SAVVAS, 2002). Em decorrência disso, a taxa de

absorção dos diversos nutrientes que compõem a solução nutritiva pode não corresponder à taxa de absorção de água. Quando esta desproporcionalidade é intensificada, a composição iônica e o volume de efluentes provenientes de sistemas de cultivo sem solo sofrem alterações após cada evento de fertirrigação (SAVVAS; MANOS, 1999).

A transpiração das plantas é um dos principais fatores que afetam a concentração salina do substrato onde se desenvolve o sistema radicular. O fluxo de vapor d'água por meio dos estômatos para o ambiente de cultivo é modulado, principalmente, pelas variáveis meteorológicas. Desta forma, quanto maior for a taxa de transpiração, mais alta será a concentração iônica da solução nutritiva contida no substrato e, conseqüentemente, da solução drenada (ANDRIOLO et al., 2003).

A taxa de transpiração é um importante componente dos balanços de energia e de água em sistemas de cultivo. Em casa-de-vegetação, a estimativa da transpiração é essencial para o controle do microclima interno à instalação, bem como da fertirrigação. Os principais fatores que afetam a taxa de transpiração da cultura são a radiação solar, o déficit de pressão de vapor d'água no ar e as resistências da cultura e aerodinâmica (KATSOULAS et al., 2001). Segundo Li et al. (2001), em condições de casa-de-vegetação, aproximadamente 90% da água absorvida pelas raízes é consumida pela transpiração das plantas. Portanto, esta variável assume a função reguladora da relação entre o consumo de nutrientes e o de água pelas plantas, influenciando o volume e a concentração de fertilizantes presentes nos efluentes do substrato de cultivo (STEIDLE NETO et al., 2009).

O presente trabalho teve por objetivo analisar a influência da transpiração do tomateiro, cultivado em substrato de areia, sob condições de casa-de-vegetação, na fração lixiviada e na condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva percolada em dois sistemas de controle de fertirrigação (convencional e automático).

Material e métodos

O experimento foi conduzido em uma casa-de-vegetação localizada na área experimental do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária - Bioagro, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Estado de Minas Gerais. As coordenadas geográficas do local de realização do experimento são: latitude 20° 45' S; longitude 42° 52' O; e altitude 690 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é temperado quente-mesotérmico; chuvoso no verão e seco no inverno.

O cultivo do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) teve início a partir da produção de mudas do híbrido Duradoro em espuma fenólica. As mudas foram transplantadas para vasos plásticos (15 L) contendo substrato de areia (densidade de 1,36 kg dm⁻³ e granulometria entre 1 e 3 mm). No

fundo de cada vaso, foi perfurado um orifício circular para permitir a drenagem da solução nutritiva lixiviada do substrato. Acima deste orifício, foi colocado um disco de tela plástica para impedir a saída da areia. Sobre este disco de tela, foram adicionados 0,5 L de cascalho fino e, posteriormente, 9,5 L de areia, totalizando um volume de substrato de 10 L. Para minimizar a perda de água por evaporação, a superfície do substrato de cada vaso foi revestida com um filme plástico transparente.

A escolha do substrato de areia foi em razão do baixo custo, da disponibilidade na região e das suas características físicas favoráveis à aeração das raízes e à drenagem. Além disso, a areia é quimicamente inerte, permitindo o controle mais preciso da nutrição mineral das plantas (ANDRIOLO, 1999).

Para a coleta da solução nutritiva drenada, os vasos de cada fileira com plantas foram posicionados sobre perfis hidropônicos de polipropileno. Os perfis foram dispostos na direção transversal da casa-de-vegetação com uma inclinação de 4% no sentido das laterais ao centro da instalação.

Visando à aplicação de solução nutritiva diretamente no substrato, junto às raízes das plantas, foi empregado um sistema de fertirrigação do tipo localizado, utilizando-se estacas gotejadoras (vazão média de 1,3 L h⁻¹) que foram conectadas a microtubos flexíveis que derivavam de tubulações de PVC de 20 mm.

O tomateiro foi fertirrigado com solução nutritiva preparada a partir de duas soluções-estoque concentradas. A formulação adotada foi proposta por Moraes e Furlani (1999) para a cultura do tomateiro nos estádios vegetativo, de frutificação e de maturação.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com dois sistemas de controle de fertirrigação (tratamentos) e quatro repetições. Cada tratamento foi aplicado a 32 plantas que foram divididas em quatro pares de fileiras, totalizando oito plantas por repetição. As fileiras com plantas foram compostas por um conjunto de quatro vasos (unidade experimental), os quais foram apoiados em blocos de concreto e espaçados de 0,5 m. Os dois sistemas de controle utilizados para aplicação de solução nutritiva foram denominados: convencional e computadorizado.

No sistema de controle convencional, a solução nutritiva foi aplicada com base em recomendações empíricas, e as plantas foram fertirrigadas das 7 às 10h e das 16 às 19h com intervalos de 30 min. Já nos horários compreendidos entre 10 e 16h, o intervalo entre fertirrigações foi reduzido para 10 min. Adicionalmente, para que o intervalo de tempo, entre o último evento de fertirrigação do dia em questão e o

primeiro a ser realizado no dia seguinte, não fosse muito longo, a motobomba também foi acionada às 24h. Ao se propor eventos de fertirrigação, com frequência diferenciada no sistema de controle convencional, buscou-se atender, de maneira bastante simplificada, a maior demanda hídrica da cultura nos horários tipicamente mais quentes do período diurno. A duração de cada evento de fertirrigação foi fixada em 100 s com base na vazão média das estacas gotejadoras, capacidade de retenção de solução pelo substrato e necessidade de lixiviação de 20% (KATERJI et al., 2003). Neste sistema de controle, o tomateiro foi fertirrigado com solução nutritiva de concentração fixa ($CE = 3 \text{ dS m}^{-1}$).

No sistema de controle automático, os intervalos de tempo entre os eventos de fertirrigação foram estabelecidos por meio de um computador associado a uma placa de controle, constituída de quatro relés eletromecânicos conectados à motobomba de fertirrigação e às microbombas de injeção de água e de soluções-estoque concentradas. Diferentemente do sistema de controle convencional, a CE da solução nutritiva aplicada às plantas foi controlada pelo sistema computadorizado a fim de manter a CE da solução drenada próxima de $3 (\pm 0,5) \text{ dS m}^{-1}$. O momento apropriado para a realização das fertirrigações foi determinado a partir de estimativas de transpiração do tomateiro, utilizando-se o modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Similarmente ao sistema de controle convencional, a duração de cada evento de fertirrigação foi fixada em 100 s.

Para se demonstrar a influência da transpiração na fração lixiviada e na CE da solução nutritiva percolada, foram realizadas medições do consumo de água pelo tomateiro em estágio final de desenvolvimento, durante um período de sete dias consecutivos, compreendidos entre 8 e 14/10/2006, no horário das 8 às 18h. A transpiração foi obtida a partir da realização de um balanço hídrico individual em cada unidade experimental, sendo que as entradas corresponderam às fertirrigações e as saídas pela transpiração e percolação. O volume de solução nutritiva percolada foi determinado diariamente por meio de uma balança eletrônica de precisão (modelo AL 500, Marte, São Paulo, Estado de São Paulo).

Além da transpiração, as variáveis meteorológicas foram monitoradas de maneira ininterrupta no interior da instalação por meio de sensores de radiação solar global (modelo CM3, Kipp & Zonen, Delft, Holanda), de temperatura e umidade relativa do ar (modelo Humitter 50Y, Vaisala Inc., Woburn, EUA) e de velocidade do ar (modelo FMA-903-I, Omega, Stamford, EUA). Estes sensores foram conectados a uma placa de aquisição de dados

(modelo CYDAS 1602HR, CyberResearch, Branford, EUA), instalada na placa-mãe de um computador. Os sensores foram posicionados em um pedestal de altura regulável, sendo mantidos a 0,5 m acima do dossel vegetativo da cultura.

No decorrer dos mesmos sete dias consecutivos, nos quais se realizaram medições do consumo de água pelo tomateiro, foram determinadas as frações lixiviadas e medidas as condutividades elétricas das soluções nutritivas drenadas. A fração lixiviada foi calculada pela razão entre o volume total drenado, armazenado em recipientes de coleta, e o volume total fertirrigado em cada fileira de plantas. Já a CE da solução nutritiva acumulada nos recipientes de coleta foi medida às 18h de cada dia, utilizando-se um condutivímetro portátil (modelo CG 853, Schott Geräte, Alemanha).

Resultados e discussão

O comportamento da radiação solar global incidente (R_g), do déficit de pressão de vapor d'água no ar (DPV_{ar}) e da temperatura do ar (T_{ar}) no ambiente de cultivo entre 8 e 14/10/2006, no horário das 8 às 18h, é apresentado na Figura 1. Neste mesmo período, a velocidade do ar também foi monitorada, mas esteve sempre abaixo de $0,5 \text{ m s}^{-1}$. Na parte superior das curvas de R_g são mostrados os valores de irradiância solar global diária, integrados ao longo das 8 às 18h. A partir destes dados, constata-se a existência de pelo menos dois valores distintos de irradiância solar diária, sendo um representativo de dia nublado (9/10/2006), quando a integral de R_g foi $2,7 \text{ MJ m}^{-2}$, e outro caracterizado por pouca nebulosidade (12/10/2006), quando a integral de R_g atingiu $7,3 \text{ MJ m}^{-2}$.

Nota-se também na Figura 1 que a radiação solar esteve diretamente relacionada com a T_{ar} e o DPV_{ar} . No dia 9/10/2006, os valores máximos de T_{ar} e DPV_{ar} foram 24°C e $0,7 \text{ kPa}$, respectivamente. Em contraste, no dia 12/10/2006, a T_{ar} atingiu 30°C e o DPV_{ar} alcançou $2,3 \text{ kPa}$.

Segundo Zolnier et al. (2004), a radiação solar global é a variável meteorológica que mais afeta o processo de transpiração das plantas no interior de uma casa-de-vegetação. Os valores medidos de transpiração, referentes aos sistemas de controle convencional e computadorizado, juntamente com as estimativas de transpiração realizadas por meio do modelo de Penman-Monteith, são apresentados na Figura 2.

No estágio de desenvolvimento avaliado, o coeficiente de cultura (K_c) do tomateiro era próximo a 0,91. De maneira geral, o modelo de Penman-

Monteith estimou satisfatoriamente os valores de transpiração medidos, tendendo, no entanto, a superestimar sutilmente o consumo de água.

Na Figura 3, são apresentadas as oscilações nos valores das frações lixiviadas que ocorreram no período experimental analisado. Concomitantemente, são mostradas as variações nos valores médios de CE das soluções nutritivas percoladas pelo substrato de areia. Consta-se a existência de uma relação inversamente proporcional entre fração lixiviada e CE da solução drenada.

Em decorrência da baixa transpiração do tomateiro em maior nebulosidade (9/10/2006), as frações lixiviadas foram expressivas e promoveram decréscimos na CE das soluções drenadas, principalmente a associada ao sistema de controle convencional (Figura 3). Em contraste, no dia 12/10/2006, caracterizado por altos valores de R_g e de DPV_{ar} , a transpiração do tomateiro aumentou,

ocasionando reduções nas frações lixiviadas e elevação na CE das soluções drenadas provenientes dos sistemas de controle convencional e computadorizado.

Além da transpiração, a frequência dos eventos de fertirrigação também afetou a fração lixiviada e a CE dos efluentes. No caso do sistema de controle computadorizado, o número de eventos de fertirrigação foi determinado pelas estimativas de transpiração. Por outro lado, no sistema de controle convencional, as fertirrigações foram preestabelecidas de maneira empírica em um temporizador, sendo insensíveis às condições meteorológicas no ambiente de cultivo. Segundo Savvas et al. (2007), a frequência de fertirrigação interfere na salinidade do substrato, pois modifica a concentração de íons no meio de cultivo e sua distribuição.

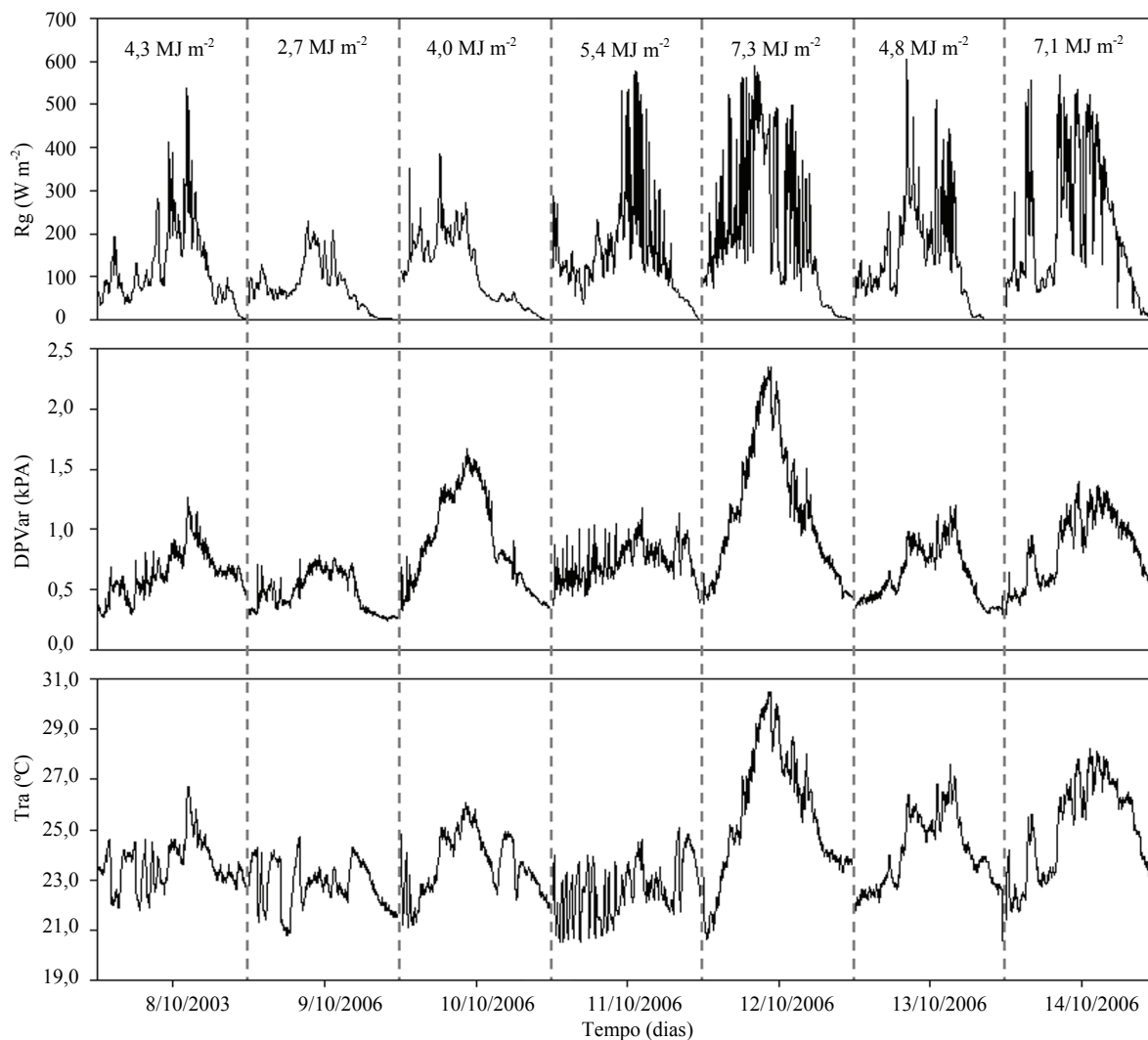


Figura 1. Variação da radiação solar global (R_g), do déficit de pressão de vapor d'água no ar (DPV_{ar}) e da temperatura do ar (T_{ar}) no interior da casa-de-vegetação cultivada com tomateiro, no período de 8 a 14/10/2006 e no horário das 8 às 18h em Viçosa, Estado de Minas Gerais.

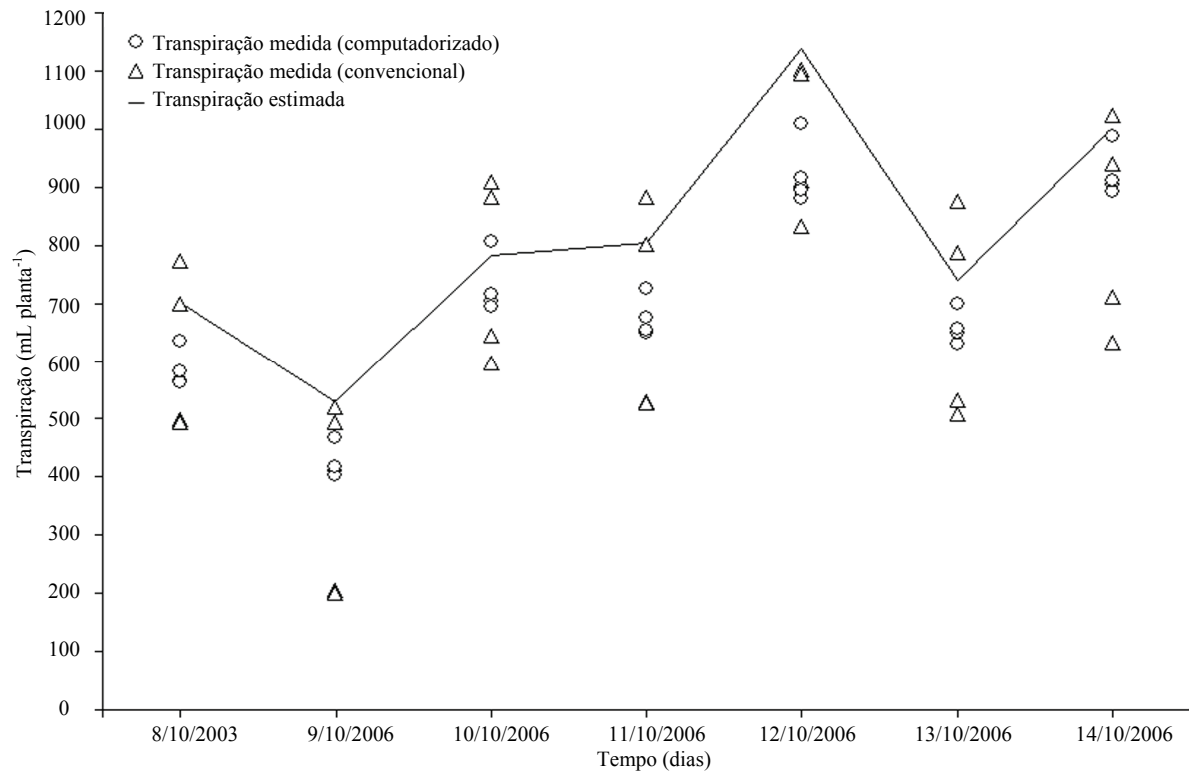


Figura 2. Transpiração do tomateiro estimada por meio do modelo de Penman-Monteith (linha) e valores medidos em plantas submetidas aos sistemas de controle de fertirrigação convencional (triângulos) e computadorizado (círculos) para o período de 8 a 14/10/2006 em Viçosa, Estado de Minas Gerais. + + +

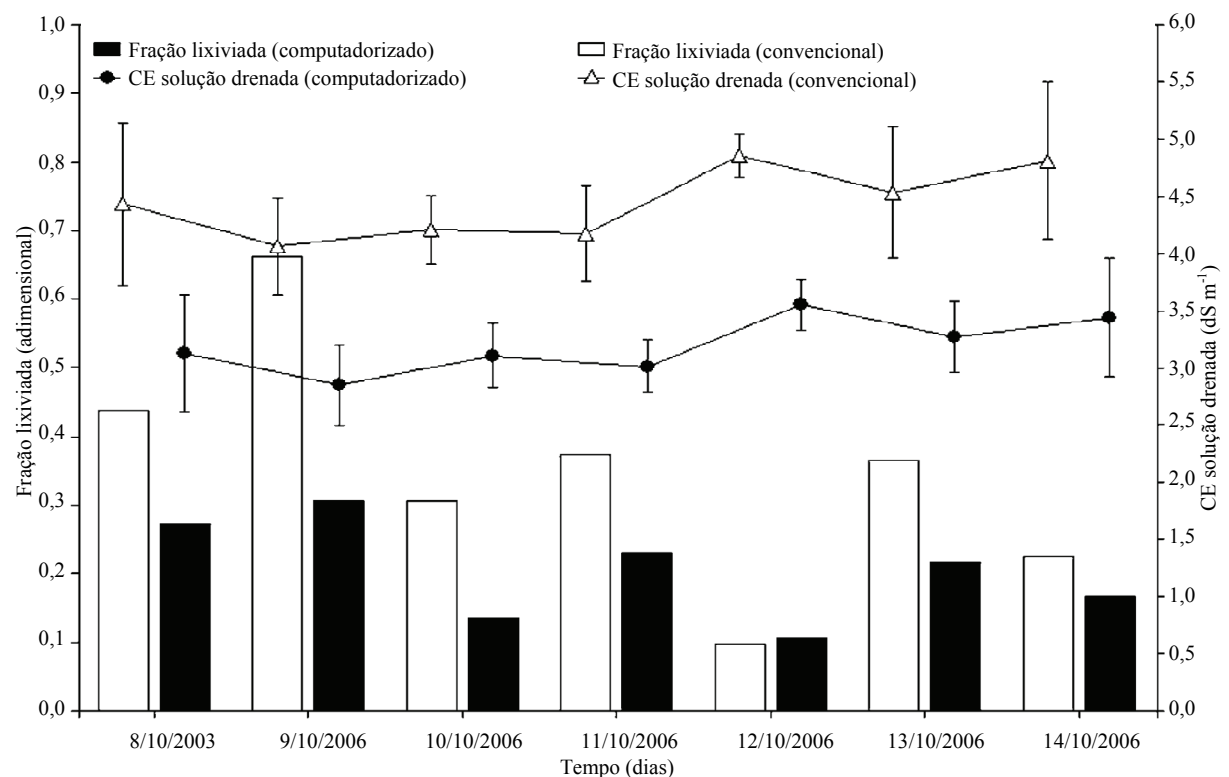


Figura 3. Variação da fração lixiviada e da CE da solução nutritiva drenada, associadas aos sistemas de controle convencional e computadorizado, no período de 8 a 14/10/2006 em Viçosa, Estado de Minas Gerais.

No período de 8 a 14/10/2006, a fração lixiviada média, referente ao sistema de controle computadorizado, foi de 0,21. Este resultado está muito próximo do limite superior de 0,20, recomendado por Katerji et al. (2003), e em concordância com o valor previamente programado neste sistema de controle.

Com relação ao sistema de controle convencional, a fração lixiviada média foi de 0,38 para o mesmo período, muito acima de 0,25 sugerido por Tüzel et al. (2007) como adequado para o cultivo do tomateiro em substrato sem recirculação de solução drenada. No entanto, o valor 0,67 foi atingido no dia 9/10/2006, evidenciando-se um desperdício excessivo de solução nutritiva nesse sistema de controle. Neste mesmo dia, a fração lixiviada do sistema computadorizado foi 0,31, o que representa uma redução de 54% em relação ao sistema convencional. De acordo com Ku e Hershey (1991), o maior benefício da lixiviação, em detrimento da poluição ambiental causada pelo descarte de efluentes, é a remoção do excesso de fertilizantes e a minimização do processo de salinização na zona radicular.

No que se refere à CE das soluções drenadas, a partir das plantas fertirrigadas pelo sistema de controle computadorizado, constatou-se ter sido satisfatório o desempenho da estratégia de controle em manter a CE média diária entre 2,9 e 3,5 dS m⁻¹. Portanto, os resultados demonstraram que o modelo proposto por Penman-Monteith possibilitou a predição dos valores de transpiração do tomateiro com exatidão adequada para a realização do controle da fertirrigação. Estes resultados estão em concordância com os obtidos por Harmanto et al. (2005) que, estimando a necessidade hídrica do tomateiro por meio da equação de Penman-Monteith, confirmaram a eficácia deste modelo de predição como ferramenta para o controle das irrigações em condição de casa-de-vegetação.

Conclusão

A transpiração do tomateiro influenciou a fração lixiviada e a CE da solução drenada nos vasos de cultivo em ambos os sistemas de controle da fertirrigação. Em condições de alta transpiração do tomateiro, a fração lixiviada foi reduzida e a CE da solução drenada aumentou consideravelmente, principalmente no sistema de controle convencional. Contrariamente, nos dias com baixa transpiração da cultura, verificaram-se maiores frações lixiviadas e menores valores de CE da solução drenada.

A CE da solução drenada nos vasos de cultivo associados ao sistema computadorizado foi mantida dentro dos níveis preconizados para a cultura do tomateiro em substrato.

O sistema de controle computadorizado proporcionou reduções expressivas na fração lixiviada em relação ao sistema de controle convencional, sem provocar a salinização do substrato e intensificar os problemas ambientais resultantes do descarte de efluentes.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, pela concessão da bolsa de estudos e ao Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil - Prodetab, pelo suporte financeiro à pesquisa.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and drainage paper, v. 56).
- ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999.
- ANDRIOLO, J. L.; WITTER, M.; DAL ROSS, T.; GODOI, R. S. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com reutilização da solução nutritiva drenada. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 3, p. 485-489, 2003.
- HARMANTO; SALOKHE, V. M.; BABEL, M. S.; TANTAU, H. J. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. **Agricultural Water Management**, v. 71, n. 3, p. 225-242, 2005.
- KATERJI, N.; VAN HOORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. **Agricultural Water Management**, v. 62, n. 1, p. 37-66, 2003.
- KATSOULAS, N.; KITTAS, C.; BAILLE, A. Estimating transpiration rate and canopy resistance of a rose crop in a fan-ventilated greenhouse. **Acta Horticulturae**, n. 548, p. 303-309, 2001.
- KLÄRING, H. P.; SCHWARZ, D.; HEIBNER, A. Control of nutrient solution concentration in tomato crop using models of photosynthesis and transpiration: a simulation study. **Acta Horticulturae**, n. 450, p. 329-334, 1997.
- KU, C. S. M.; HERSHEY, D. R. Leachate electrical conductivity and growth of potted poinsettia with leaching fractions of 0 to 0.4. **Journal of the American Society Horticultural Science**, v. 116, n. 5, p. 802-806, 1991.
- LI, Y. L.; STANGHELLINI, C.; CHALLA, H. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 88, n. 1, p. 11-29, 2001.

- MORAES, C. A. G.; FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças de frutos em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200-201, p. 105-113, 1999.
- SAVVAS, D. Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. **Biosystems Engineering**, v. 83, n. 2, p. 225-236, 2002.
- SAVVAS, D.; MANOS, G. Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 73, n. 1, p. 29-33, 1999.
- SAVVAS, D.; STAMATI, E.; TSIROGIANNIS, I. L.; MANTZOS, N.; BAROUCAS, P. E.; KATSOULAS, N.; KITTAS, C. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. **Agricultural Water Management**, v. 91, n. 1, p. 102-111, 2007.
- STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W. A.; MARTINEZ, H. E. P. Avaliação do desempenho de um sistema automático para controle da fertirrigação do tomateiro cultivado em substrato. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 380-389, 2009.
- TÜZEL, I. H.; TÜZEL, Y.; GÜL, A.; ÖZTEKIN, G. B.; ÖZTAN, F.; MERİÇ, K. M.; ÜÇER, F. Effects of different leaching fractions on tomato production. **Acta Horticulturae**, n. 729, p. 373-378, 2007.
- ZOLNIER, S.; LYRA, G. B.; GATES, R. S. Evapotranspiration estimates for greenhouse lettuce using an intermittent nutrient film technique. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 47, n. 1, p. 271-282, 2004.

Received on May 5, 2008.

Accepted on February 20, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.