

## Injeção de CO<sub>2</sub> e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa<sup>1</sup>

Denis Cesar Cararo; Sérgio N. Duarte

ESALQ, C. Postal 09, Av. Pádua Dias, 11, 13.418-900; Piracicaba-SP; E-mail: dccararo@esalq.usp.br

### RESUMO

A aplicação de quantidades adequadas de água e o uso de técnicas associadas melhoram a produtividade e a qualidade de frutos de tomate, assegurando melhores lucratividades aos empreendimentos agrícolas. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da aplicação de lâminas de água e da injeção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no sistema de irrigação sobre a cultura de tomate, cultivar Débora-Plus. Para isso foi conduzido um experimento em Piracicaba, de março a outubro de 1999 sob duas estufas, utilizando seis lâminas de água (40; 60; 80; 100; 120% e 140% da lâmina requerida pela cultura) e dois níveis de dióxido de carbono (C<sub>0</sub> = 0 g de CO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> de água e C<sub>1</sub> = 7,73 g.L<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>) aplicados via água. O delineamento experimental para o efeito das lâminas de irrigação foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos de CO<sub>2</sub> foram aplicados em estufas separadas. A irrigação foi realizada utilizando sistema de irrigação por gotejamento, com manejo controlado por tanques evaporimétricos reduzidos e tensiômetros. A aplicação do CO<sub>2</sub> foi realizada por intermédio de um cilindro comercial e injetor tipo Venturi, durante o tempo necessário à aplicação da lâmina mínima de água. A aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação proporcionou aumentos de 8,2%; 13% e 8,5% respectivamente na produtividade, peso de frutos de tamanho pequeno e conteúdo de matéria seca de frutos. Entretanto não foram verificados efeitos significativos sobre o número de frutos e o peso de frutos de tamanho médio. Análises da solução do solo indicaram que o uso do CO<sub>2</sub> possivelmente contribui para a melhoria das condições nutricionais do tomateiro. Verificou-se também a viabilidade econômica da aplicação deste gás. As lâminas de irrigação não proporcionaram efeitos significativos sobre a produtividade, o número total, o peso médio e o conteúdo de matéria seca de frutos. As produtividades máximas estimadas, ajustando-se os dados a funções quadráticas, foram de 78,82 t.ha<sup>-1</sup> e 86,36 t.ha<sup>-1</sup>, correspondentes à aplicação de 335,2 mm e 333,6 mm de água para as estufas sem e com aplicação de CO<sub>2</sub>, respectivamente. Para uma faixa de variação do produto físico marginal de 0 a 1, as lâminas economicamente ótimas variaram de 335,2 mm a 322,4 mm em ausência de CO<sub>2</sub> e de 333,6 mm a 323,8 mm com utilização do gás.

**Palavras-chave:** *Lycopersicon esculentum* Mill., irrigação por gotejamento, estresse hídrico, ambiente protegido, produtividade, função de produção, receita líquida.

### ABSTRACT

#### CO<sub>2</sub> injection and irrigation levels in greenhouse tomatoes

The application of appropriate amounts of water and the usage of associated techniques improve the yield and quality of tomato fruits, assuring better profits to the farmer. We studied the effect of different water depth applications and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) injection in the irrigation system of a tomato crop, cv. Débora-Plus. An experiment was conducted in Piracicaba, São Paulo State (Brazil), under two greenhouses, using 40; 60; 80; 100; 120 and 140% of the water depth needed by the crop and C<sub>0</sub> = 0 g of CO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> of water and C<sub>1</sub> = 7.73 g.L<sup>-1</sup> of CO<sub>2</sub> concentrations were applied through irrigation water during 1999. The experiment was conducted in completely randomized blocks, with four replications. The CO<sub>2</sub> treatments were applied in separate greenhouses. The irrigation was accomplished by using a drip irrigation system, based on reduced evaporimeters and tensiometers. The gas application was accomplished using a commercial cylinder and a Venturi type injector during the period necessary to reach the minimum water level. The application of CO<sub>2</sub> through irrigation water increased the yield by 8.2%, raised the weight of small size fruits by 13% and the dry matter content of fruits by 8.5%. However, CO<sub>2</sub> injection was ineffective in increasing the number and weight of medium sized fruits. The soil solution analysis indicated that CO<sub>2</sub> possibly contributes to the improvement of the nutritional conditions of the tomato crop. The gas injection was economically feasible. The water depth did not have any significant effect on the yield, on total number of fruits, medium fruit weight and dry matter content of fruits. The maximum yields, adjusting data to quadratic functions, were 78.82 t.ha<sup>-1</sup> and 86.36 t.ha<sup>-1</sup>, corresponding to application of 335.2 mm and 333.6 mm of water for the greenhouses without and with CO<sub>2</sub> application, respectively. For a variation range of the marginal physical product, from 0 to 1, the economically optimal water depth varied from 335.2 mm to 322.4 mm without CO<sub>2</sub>, and 333.6 mm to 323.8 mm with gas injection through irrigation water.

**Keywords:** *Lycopersicon esculentum* Mill., drip irrigation, water stress, protected ambient, yield, crop production functions, income net.

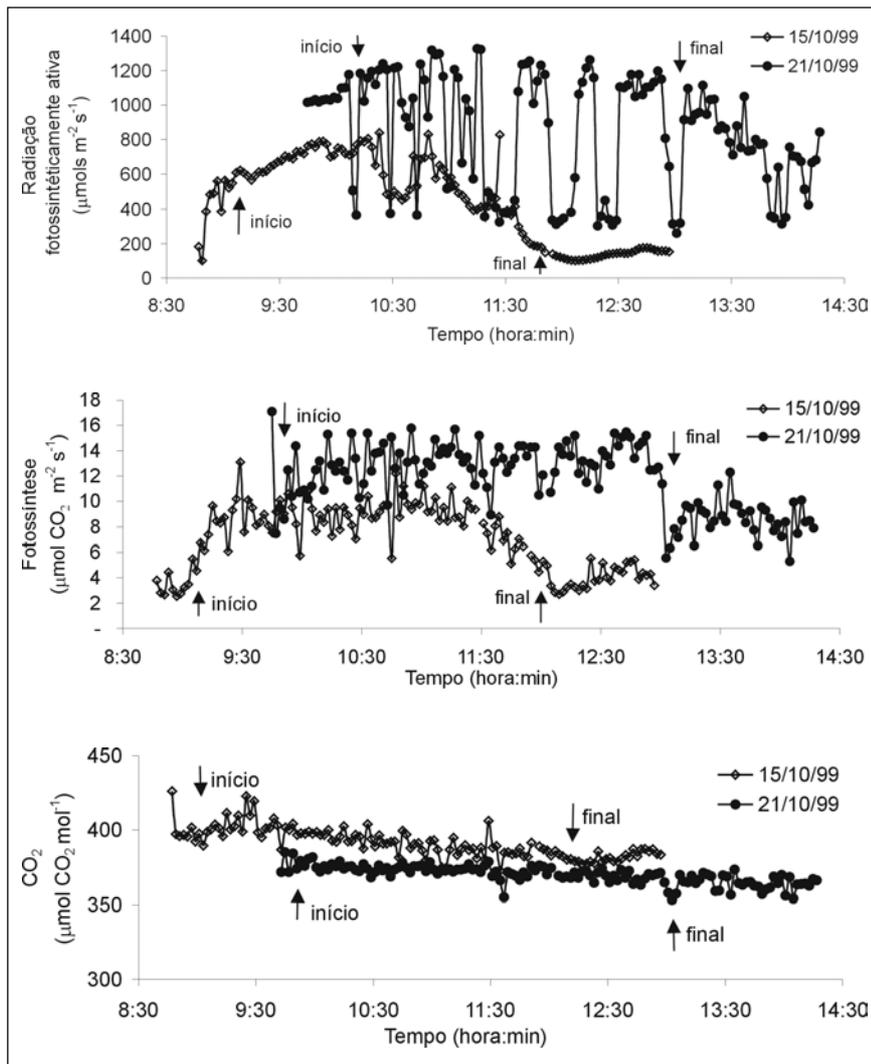
(Recebido para publicação em 28 de fevereiro de 2000 e aceito em 27 de março de 2002)

Durante muitos anos novas tecnologias descobertas pela pesquisa foram incorporadas ao cultivo de tomate em função da necessidade de se obter frutos em maior quantidade e melhor qualidade, e redução de custos de produção a fim de abastecer um merca-

do consumidor crescente. Entre elas estão o cultivo em ambientes protegidos e o uso de sistema de irrigação por gotejamento. Há necessidade, porém de informações a respeito da lâmina de água economicamente ótima e da aplicação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) via água de

irrigação, em vista da grande importância da cultura de tomate entre as hortaliças no Brasil (Castellani *et al.*, 1993), bem como da pouca informação sobre os efeitos do CO<sub>2</sub> aplicado pela água no cultivo desta planta e do imprescindível uso de irrigação em cultivos protegidos.

<sup>1</sup> Trabalho referente à dissertação de mestrado



**Figura 1.** Radiação fotossinteticamente ativa, fotossíntese e concentração de CO<sub>2</sub> no ar antes, durante e após a aplicação do gás na linha de irrigação. Piracicaba, ESALQ – USP, 1999.

O enriquecimento do ar com CO<sub>2</sub> teve seu uso e adoção largamente difundidos em culturas sob ambiente protegido, devido à melhora em produtividade, qualidade e maturação acelerada das plantas, tal como em flores ornamentais e em culturas hortícolas (Wittwer, 1970). Recentemente a injeção de CO<sub>2</sub> na água de irrigação despertou o interesse de diversos pesquisadores (Novero *et al.*, 1991; D'Andria *et al.*, 1993; Storlie & Heckman, 1996; Pinto, 1997) como uma forma diferenciada de aplicação do gás no ambiente. Entretanto, segundo Nederhoff (1990) os experimentos realizados em cultivos protegidos ou campo aberto têm mostrado diferentes respostas das plantas ao uso de água carbonatada na irrigação. A maioria dos efeitos positivos foram explicados pelo maior crescimento de raízes e/ou absor-

ção de nutrientes. Machado *et al.* (1999) citaram diversos autores que apontam algumas formas de ação do CO<sub>2</sub>, seja diretamente ou indiretamente na fotossíntese e nas raízes.

Em geral as hortaliças cultivadas em condições de campo ou em ambientes protegidos têm seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. A deficiência de água normalmente é o fator mais limitante para a obtenção de produtividade elevada e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial (Silva & Marouelli, 1998). Pulupol *et al.* (1996) conduziram tratamentos em déficit e verificaram redução no crescimento das plantas, produtividade, tamanho e peso de frutos, e incidência de podridão apical. Alvino *et al.* (1986) apontaram que irrigações em

abundância reduzem o rendimento e a qualidade de frutos, e acarretam em maiores custos de produção. Assim, é fundamental realizar o manejo racional da irrigação, visando manter favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das plantas (Silva & Marouelli, 1998), bem como maximizar a receita líquida. Segundo Helweg (1991) esta maximização é uma forma mais conveniente de quantificar a resposta da cultura à irrigação, e de acordo com Rao *et al.* (1988) obter produtividades estimadas pela aplicação de lâminas de água economicamente ótimas.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de lâminas de água, considerando a tecnologia da aplicação de dióxido de carbono injetado no sistema de irrigação na produtividade, número de frutos e conteúdo de matéria seca de tomateiro cultivado sob ambiente protegido.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de março a outubro de 1999 em dois ambientes protegidos (estufas de polietileno de 100 m<sup>2</sup>) em Piracicaba. O clima é do tipo Cwa e o solo é um Nitossolo Vermelho, que apresenta em média 565 g.Kg<sup>-1</sup> de argila, 254 g.Kg<sup>-1</sup> de areia e 181 g.Kg<sup>-1</sup> de silte, na profundidade de 0 cm a 20 cm. Também para essa profundidade, o solo sem aplicação de CO<sub>2</sub> apresentou em média 5,7 de pH<sub>CaCl2</sub>, 31 g.dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica, 63 mg.dm<sup>-3</sup> de P; 8,3 mmolc.dm<sup>-3</sup> de K; 72 mmolc.dm<sup>-3</sup> de Ca; 36 mmolc.dm<sup>-3</sup> de Mg e 28 mmolc.dm<sup>-3</sup> de H+Al e, o solo com aplicação de CO<sub>2</sub> apresentou em média 5,5 de pH<sub>CaCl2</sub>, 32 g.dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica, 13 mg.dm<sup>-3</sup> de P; 3,4 mmolc.dm<sup>-3</sup> de K, 39 mmolc.dm<sup>-3</sup> de Ca; 21 mmolc.dm<sup>-3</sup> de Mg e 31 mmolc.dm<sup>-3</sup> de H+Al.

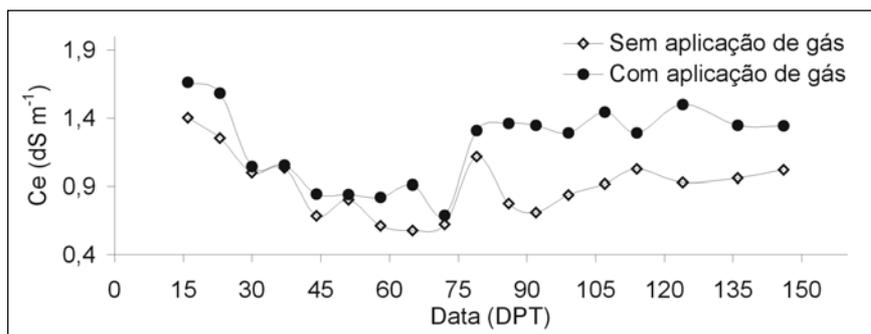
O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de seis lâminas totais de água (40; 60; 80; 100; 120 e 140% da lâmina requerida pela cultura) e dois níveis de CO<sub>2</sub> (7,73 g de CO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> de água aplicada, e sem injeção do gás) via água de irrigação, correspondentes a cada estufa.

Realizaram-se gradagem e adubação do solo segundo recomendação adota-

da pelo Laboratório de Solos da ESALQ, e instalações para o tutoramento das plantas, a irrigação por gotejamento, a aplicação de CO<sub>2</sub> e a cobertura de solo por polietileno preto. No sistema de irrigação efetuaram-se ensaios de uniformidade, calibração de manômetro e eliminação de vazamentos.

Após 30 dias do plantio (25 de maio), transplantaram-se as mudas de tomate, cultivar Débora-Plus, em espaçamento de 0,8 m x 0,5 m, cultivando-as durante 158 dias. Os estádios fenológicos de florescimento, frutificação e colheita iniciaram-se aos 34, 42 e 93 dias após transplante (DPT), respectivamente. Executou-se o controle fitossanitário químico-cultural, conforme recomendado por Andrei (1996). Utilizando-se um conjunto psicrométrico localizado em posição central nas estufas obteve-se dados diários que indicaram condições ótimas (Minami, 1989) de temperatura média do ar (25°C) e umidade relativa do ar média (65%), o que permitiu o crescimento das plantas e um melhor controle de doenças que pudessem ocorrer. Leituras de radiação fotossinteticamente ativa, fotossíntese e concentração de CO<sub>2</sub> no ar, foram realizadas utilizando-se um analisador aos 144 e 150 DPT (Figura 1). As fertirrigações foram semanais, iniciadas a partir da abertura das primeiras inflorescências e foram baseadas na marcha de absorção de nutrientes apresentada por Ferreira *et al.* (1993). Coletaram-se soluções do solo em dia posterior a fertirrigação, conforme descrito por Silva *et al.* (1999), submetendo-as à análise de condutividade elétrica (Figura 2).

No 29° DPT iniciou-se a individualização dos tratamentos, controle e manejo da irrigação inicialmente pela reposição diária da água evapotranspirada pela cultura, realizando-se leituras da lâmina evaporada em dois tanques evaporimétricos reduzidos, de 0,6 m de diâmetro, um em cada estufa e convertendo-se os valores para a evaporação do tanque "Classe A" conforme Medeiros *et al.* (1997). A evapotranspiração foi calculada diariamente e convertida em lâmina bruta conforme descrito por Marouelli *et al.* (1996), considerando a eficiência de ir-



**Figura 2.** Condutividade elétrica média na solução do solo coletada por extrator com cápsula porosa. Piracicaba, ESALQ – USP, 1999.

rigação de 90%, e ajustada conforme o tratamento, ou seja, multiplicando-se por 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 e 1,4.

Ao 51° DPT, as plantas possuíam 1,2 m de altura média e os tanques evaporimétricos reduzidos ficaram sombreados, tornando-os inadequados para indicação da quantidade de água consumida pelas plantas. Este fato determinou a decisão de continuar o controle da irrigação usando-se tensiômetros instalados a 20 cm de profundidade nos tratamentos de aplicação de 100% da lâmina requerida, efetuando leituras diárias e calculando a lâmina requerida com base na curva de retenção de água, largura da faixa molhada, e espaçamento das linhas de irrigação, elevando a tensão de aproximadamente 18 kPa à tensão equivalente à capacidade de campo (10 kPa). Para os demais tratamentos corrigia-se a lâmina requerida deste tratamento pelos fatores 0,4; 0,6; 0,8; 1,2 e 1,4. Nos dias em que a tensão mátrica média tornava-se menor ou igual à tensão na capacidade de campo, não eram realizadas irrigações. As irrigações foram realizadas individualmente a cada tratamento, no período entre as 9 e 14 horas e foram suspensas no 157° DPT.

O dióxido de carbono foi aplicado do 53° ao 151° DPT, pelo uso de cilindro com capacidade de 25 kg de gás, válvula reguladora de pressão com precisão de 1000 kPa e injetor tipo Venturi, localizados no início do sistema de irrigação. A quantificação inicial do gás foi realizada pelo método volumétrico. A quantidade de gás aplicada a cada irrigação variou em função do tempo de irrigação relativo à lâmina mínima, correspondendo a 80% do mesmo. O

tempo total de aplicação de gás correspondeu à soma dos tempos registrados a cada dia. Ao final do ciclo pesou-se a quantidade de gás restante e efetuou-se o cálculo do CO<sub>2</sub> aplicado durante o ciclo da cultura, o qual correspondeu a 7,73 g de CO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> de água aplicada, próximo ao mencionado por Nederhoff (1990), que cita valores de até 5,5 g.L<sup>-1</sup>.

Foram realizadas 17 colheitas, em média duas vezes por semana, estendendo-se no período de 93° ao 157° DPT. Foram avaliados a produtividade, o número total de frutos, o peso médio dos frutos a cada colheita e, percentagem de matéria seca dos frutos de três colheitas (Tabela 1).

Para a produtividade, número total, peso médio e percentagem de matéria seca dos frutos, adotou-se análises estatísticas por testes não-paramétricos, ou seja, Kruskal-Wallis para análise entre lâminas e Wilcoxon entre tratamentos de gás, ambos a 5% de significância. O uso destes testes foi devido à falta de casualização entre os tratamentos de gás ocorrida em função da dificuldade em se conduzir o experimento em um número mínimo de quatro estufas (dois para cada nível de CO<sub>2</sub>), e devido à falta de normalidade entre os dados. Segundo Campos (1979) os testes não-paramétricos são mais eficientes do que os demais, quando os dados da população não têm distribuição normal. Para condutividade elétrica, cálcio e nitrato, utilizou-se teste de F a 5% de significância.

A partir de funções de produção quadráticas obtidas para a relação entre lâmina total aplicada e produtividade, aplicou-se o conceito de lâmina ótima

**Tabela 1.** Médias de produtividade (t.ha<sup>-1</sup>), de número de frutos (frutos.m<sup>-2</sup>), do peso de frutos (g) e da matéria seca de frutos (%) de tomate na 9<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> colheita, relativas às lâminas de água de irrigação sem e com aplicação de CO<sub>2</sub>, Piracicaba, ESALQ – USP, 1999.

	Lâminas de água (mm)	143 146	203 212	264 273	322 332	381 393	438 458	Média
Produtividade	Sem CO <sub>2</sub>	65,8 aA	69,6 aA	79,4 aA	71,4 aA	87,7 aA	70,7 bA	74,1 b
	Com CO <sub>2</sub>	69,3 aA	79,2 aA	77,2 aA	96,2 aA	80,4 aA	78,8 aA	80,2 a
	Média	67,6 A	74,4 A	78,3 A	83,9 A	84,1 A	74,8 A	
Número de frutos pequenos	Sem CO <sub>2</sub>	141 a	131 a	121 a	130 a	104 a	131 a	126 a
	Com CO <sub>2</sub>	109 a	153 a	117 a	127 a	129 a	132 a	128 a
Número de frutos médios	Sem CO <sub>2</sub>	30 b	25 b	31 b	30 b	33 b	35 b	26 b
	Com CO <sub>2</sub>	20 b	31 b	35 b	30 b	43 b	45 b	34 b
Peso de frutos pequenos	Sem CO <sub>2</sub>	52 aA	53 aA	51 aA	56 bA	57 aA	57 aA	54 b
	Com CO <sub>2</sub>	59 aA	59 aA	59 aA	71 aA	63 aA	57 aA	61 a
	Média	55 A	56 A	55 A	63 A	60 A	57 A	
Peso de frutos médios	Sem CO <sub>2</sub>	108 aA	107 bA	112 aA	111 aA	114 aA	112 aA	111 a
	Com CO <sub>2</sub>	113 aA	116 aA	113 aA	109 aA	112 aA	112 aA	
	Média	111 A	111 A	112 A	110 A	113 A	112 A	
Matéria seca na 9 <sup>a</sup> Colheita	Sem CO <sub>2</sub>	5,86 aA	5,58 aA	5,61 aA	5,41 aA	5,36 aA	5,05 aA	5,48 b
	Com CO <sub>2</sub>	5,88 aA	5,56 aA	5,58 aA	5,62 aA	5,59 aA	5,69 aA	5,65 a
	Média	5,86 A	5,58 A	5,59 A	5,51 A	5,46 A	5,39 A	
Matéria seca na 10 <sup>a</sup> Colheita	Sem CO <sub>2</sub>	3,48 aA	3,24 aA	3,05 aA	2,95 aA	3,17 aA	3,61 aA	3,25 a
	Com CO <sub>2</sub>	3,58 aA	3,12 aA	3,40 aA	3,29 aA	3,17 aA	3,28 aA	3,31 a
	Média	3,53 A	3,18 A	3,23 A	3,13 A	3,16 A	3,46 A	
Matéria seca na 12 <sup>a</sup> Colheita	Sem CO <sub>2</sub>	4,25 aA	3,09 aA	3,79 aA	3,53 bA	3,37 aA	3,94 aA	3,66 b
	Com CO <sub>2</sub>	4,25 aA	4,04 aA	4,43 aA	4,92 aA	4,13 aA	5,08 aA	4,48 a
	Média	4,25 A	3,58 A	4,14 A	4,23 A	3,80 A	4,51 A	

As médias seguidas com letra minúscula, entre linhas, correspondem à comparação de produtividades entre estufas, entre tamanhos de frutos, entre pesos de frutos e, entre percentagens de matéria seca de frutos para as respectivas estufas pelo teste de Wilcoxon, enquanto que, com letra maiúscula, entre colunas, correspondem à comparação entre lâminas para uma mesma estufa pelo teste de Kruskal-Wallis. Ambos testes a 5% de significância.

econômica conforme Frizzone (1986) e Bertonha (1997). Finalmente verificou-se, para as condições do experimento, a viabilidade da adoção da técnica de aplicação de CO<sub>2</sub>, considerando o incremento em receita gerado e as despesas com a mesma. Para isto utilizou-se a média de cinco anos de preço pago ao produtor por quilograma de tomate nos meses em que ocorreram as colheitas, em conformidade com o FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO (2000), e os custos do CO<sub>2</sub> no mesmo período fornecidos pelo distribuidor de gás.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises da solução do solo revelaram que, mesmo não diferindo estatisticamente, a condutividade elétrica,

com a aplicação da água carbonatada, foi ligeiramente superior ao tratamento sem a aplicação do gás (Figura 2). Este resultado também foi encontrado por D'Andria *et al.* (1993). Esta maior disponibilidade de nutrientes, verificado pela condutividade elétrica, devido a reações no solo, melhora a absorção pelas plantas, conduzindo a maior produtividade, peso de frutos e conteúdo de matéria seca, os quais no experimento tiveram incrementos médios com CO<sub>2</sub> de 8,2%, semelhante ao 9% encontrado por Novero *et al.* (1991), 13% e 8,5%, respectivamente. Esta maior absorção de nutrientes com água carbonatada e conseqüentes respostas agrônomicas também são verificados em Novero *et al.* (1991). As maiores respostas verificadas no experimento, possivelmente não fo-

ram devidos a incremento de fotossíntese, visto que a mesma apenas acompanha a tendência da radiação fotossinteticamente ativa (Figura 1). Durante a aplicação, também não se verificaram incrementos de CO<sub>2</sub> no ar que justificassem um aumento na fotossíntese (Figura 1), o que reforça o mencionado anteriormente a respeito da ação do gás, aplicado via água, no solo. Dessa forma, é possível que o esperado efeito benéfico da aplicação do CO<sub>2</sub> na maioria das características fisiológicas da cultura não tenha sido verificado em virtude do incremento da concentração de gás no ar, fato também relatado por Novero *et al.* (1991).

O controle das lâminas diferenciadas iniciou-se a partir do 29º DPT, compreendendo um período total de 129

dias. As lâminas totais corresponderam a:  $W_1 = 143$  mm,  $W_2 = 203$  mm,  $W_3 = 264$  mm,  $W_4 = 322$  mm,  $W_5 = 381$  mm e  $W_6 = 438$  mm para a estufa sem aplicação de  $CO_2$  e  $W_1 = 146$  mm,  $W_2 = 212$  mm,  $W_3 = 273$  mm,  $W_4 = 332$  mm,  $W_5 = 393$  mm e  $W_6 = 458$  mm para a estufa com aplicação de  $CO_2$ . As diferenças entre as lâminas das duas estufas se devem ao fato do manejo da irrigação ter sido realizado de forma independente para cada uma das duas estufas. Possivelmente a maior necessidade hídrica quando aplicado o gás seja decorrente de uma maior evapotranspiração, o que permitiu uma maior absorção de nutrientes e o conseqüente aumento de produtividade na estufa que se aplicou o  $CO_2$ .

Embora se esperasse uma diferença de produtividade devido às lâminas aplicadas, observou-se serem estas estatisticamente iguais, conforme apresentado na Tabela 1. Este resultado pode ser justificado pelo uso do "mulch" e pela alta frequência da irrigação (1,3 dias e 1,5 dias, respectivamente para as estufas sem e com  $CO_2$ ), os quais podem ter influenciado na atenuação dos efeitos esperados pela aplicação de lâminas em déficit, como relatado por Pilatti & Paletto (1996). Esses autores obtiveram redução significativa no número de frutos rachados como conseqüência da redução da variação da umidade do solo devido à utilização de "mulch".

O incremento no número de frutos não foi significativo para a aplicação de gás (Tabela 1), concordando com Calvert & Slack (1975), nem para as lâminas de água. Os dados, entretanto apresentaram uma tendência similar à da produtividade, apresentando efeitos de redução do número de frutos em condições de déficit hídrico e de excesso de umidade no solo para ambas estufas. Este fato indica que o número de frutos foi o componente da produção que mais influenciou na produtividade em relação às lâminas de irrigação, concordando com Novero *et al.* (1991) para cultivo sob condições de solo coberto.

Os incrementos obtidos foram principalmente devido a frutos de tamanho pequeno, pois os de tamanho médio não diferiram estatisticamente para os tratamentos de lâmina ou de  $CO_2$  (Tabela 1), e obteve-se poucos frutos grandes

devido a não realização do raleio de frutos, julgando-se desnecessária a análise estatística para este tamanho.

A partir dos dados de produtividade e lâminas totais de água aplicada durante o ciclo, foi possível ajustar regressões polinomiais de segunda ordem para os tratamentos com e sem gás que são apresentadas nas equações 1 e 2:

$Yc = 29501 + 340,84 W - 0,5108W^2$  (1), onde  $Yc$  = Produtividade de tomate com injeção de  $CO_2$ ,  $kg \cdot ha^{-1}$ ; e  $W$  = Lâmina de água total aplicada em mm.

$Ys = 34931 + 261,96W - 0,3909W^2$  (2), onde  $Ys$  = Produtividade de tomate sem injeção de  $CO_2$  em  $kg \cdot ha^{-1}$ ; e  $W$  = Lâmina de água total aplicada em mm.

Diversos autores têm encontrado funções quadráticas, como as obtidas neste trabalho, para culturas como tomate cultivado a campo (Alves, 1980), feijão (Frizzone, 1986), milho (Silva *et al.*, 1992) e laranja (Bertonha, 1997). Segundo Helweg (1991), estas funções são suficientes para uma situação específica. Assim, deve-se verificar a adequação destas funções para os diferentes locais em que se deseje cultivar.

Verificou-se, a partir das funções quadráticas obtidas, que as produtividades máximas foram  $78,82 t \cdot ha^{-1}$  e  $86,36 t \cdot ha^{-1}$  em função da aplicação de 335,2 mm e 333,6 mm, para os tratamentos sem e com injeção de  $CO_2$ , respectivamente. A partir destes valores, um acréscimo na lâmina de irrigação acarreta num ligeiro decréscimo de produtividade, resultante dos efeitos do excesso de água no solo sobre o rendimento da cultura. Da mesma forma, as lâminas de água totais inferiores aos valores ótimos citados induzem a uma ligeira redução da produtividade, devido ao déficit hídrico.

Para a maximização da receita líquida foram calculados os produtos físicos marginais da água sem e com aplicação de  $CO_2$ , sendo os mesmos apresentados nas equações 3 e 4:

$dYs/dW = Pw/Py = 26,196 - 0,07815 W$  (3), onde  $dYs/dW$  = Taxa de variação da produtividade em relação à água sem gás, em  $kg \cdot m^{-3}$ ; e  $w$  = Lâmina de água total aplicada em  $m^3$ ; e  $Pw/Py$  = Relação entre preço do volume unitário de água e do tomate em  $kg \cdot m^{-3}$

$dYc/dW = Pw/Py = 34,084 - 0,10216.w$  (4), onde  $dYc/dW$  = Derivada primeira da produtividade em relação à água com gás em  $kg \cdot m^{-3}$ .

Verificou-se que, para uma faixa de variação do produto físico marginal de 0 a 1, as lâminas economicamente ótimas variaram de 335,2 mm a 322,4 mm, respectivamente, para a irrigação sem aplicação de gás e de 333,6 mm a 323,8 mm para a irrigação com aplicação de gás.

Com o intuito de verificar se a adoção desta nova tecnologia foi viável nas condições em que o experimento foi conduzido, considerou-se, as produtividades máximas estimadas das funções de produção obtidas dos tratamentos sem ( $78,82 t \cdot ha^{-1}$ ) e com enriquecimento de gás ( $86,36 t \cdot ha^{-1}$ ), o preço médio de 5 anos por quilo de tomate (US\$ 1,20, segundo FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 2000), o custo estimado de US\$ 2,90 por quilo de gás, incluindo despesas com aluguel de cilindro, frete e o próprio insumo, e a área experimental de  $100 m^2$ . Nas condições expostas o incremento de receita com a utilização deste insumo foi de US\$ 90,25. Assim, considerando que, durante o experimento, foi utilizado apenas um cilindro com 25 kg de gás, o incremento de custo foi de US\$ 72,38. Dessa forma, pelos resultados obtidos verifica-se que é viável a adoção desta tecnologia, pois o incremento de receita estimado excedeu o incremento de custo. Nota-se, entretanto que este resultado advém das condições particulares deste experimento. Assim, a viabilidade teria de ser reavaliada caso a produtividade, o preço do tomate, o custo do gás sejam alterados.

Considerando-se o custo do gás equivalente a US\$ 72,38, verifica-se que a aplicação de  $CO_2$  via água de irrigação não seria viável somente se o quilo de tomate durante o período de colheita fosse inferior a US\$ 0,97, pois é neste valor que o custo do gás iguala-se à receita marginal.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo apoio financeiro.

## LITERATURA CITADA

- ALVES, E.M. *Efeito de diferentes lâminas d'água sobre a produção de três cultivares de tomateiro (Lycopersicon esculentum, Mill), com utilização da irrigação por gotejamento*. Viçosa: UFV, 1980. 72 p. (Tese mestrado)
- ALVINO, A.; D'ANDRIA, R.; ZERBI, G. Yield and quality of processing tomato varieties, as raw and canned product, with relation to irrigation level. *Acta Horticulturae*, n. 194, p. 117-124, 1986.
- ANDREI, E. *Compêndio de defensivos agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola*. 5.ed. São Paulo. 1996, 506 p.
- BERTONHA, A. *Funções de resposta da laranja pêra a irrigação complementar e nitrogênio*. Piracicaba: ESALQ – USP, 1997. 113 p. (Tese doutorado)
- CALVERT, A.; SLACK, G. Effects of carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. I. Responses to controlled concentrations. *Journal of Horticultural Science*, v. 50, p. 61-71, 1975.
- CAMPOS, H. *Estatística experimental*. 3.ed. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Matemática e Estatística, 1979. 343 p.
- CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. *Nutrição e adubação de hortaliças*. Piracicaba: POTAFOS, 1993. 487 p.
- D'ANDRIA, R.; MAGLIULO, V.; MAGGIO, A.; BASILE, G.; ARIENZO, M.; LOPEZ-GALVEZ, J. Soil and plant nutrient modifications in response to irrigation with CO<sub>2</sub> enriched water on tomato. *Acta Horticulturae*, n. 335, p. 557-562, 1993.
- FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P. *Nutrição e Adubação de Hortaliças*. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. 480 p.
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. *Agrianual 2000: anuário da agricultura brasileira: tomate*. São Paulo, 2000. p. 515-526.
- FRIZZONE, J.A. *Funções de resposta do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação*. Piracicaba: ESALQ, 1986. 133 p. (Tese doutorado)
- HELWEG, O.J. Functions of crop yield from applied water. *Agronomy Journal*, v. 83, p. 769-773, 1991.
- MACHADO, E.C.; TAKANE, R.J.; FERRO, R. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em agricultura. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) *Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 345-353.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. *Manejo da irrigação em hortaliças*. 5. ed. Brasília : EMBRAPA, SPI, 1996. 72 p.
- MEDEIROS, J.F.; PEREIRA, F.A.C.; FOLEGATTI, M.V.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A. Comparação entre evaporação em tanque classe "A" padrão e em minitanque, instalados em estufa e estação meteorológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba. 1997. *Anais*. Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 228-230.
- MINAMI, K.; HAAG, H.P. *O tomateiro*. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 397 p.
- NEDERHOFF, E.M. Technical aspects, management and control of CO<sub>2</sub> enrichment in greenhouses. *Acta Horticulturae*, n. 268, p. 127-138, 1990.
- NOVERO, R.; SMITH, D.H.; MOORE, F.D.; SHANAHAN, J.F.; D'ANDRIA, R. Field-grown tomato response to carbonated water application. *Agronomy Journal*, v. 5, n. 83, p. 911-16, 1991.
- PILATTI, R.A.; PALETTO, C.H. Effect of mulching and shading on splitting of tomato fruits grown in the greenhouse. *Horticultura Argentina*, v. 15, n. 38, p. 12-16, 1996.
- PINTO, J.M. *Aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em meloeiro*. Piracicaba: ESALQ - USP, 1997. 82 p. (Tese doutorado)
- PULUPOL, L.U.; BEHBOUDIAN, M.H.; FISHER, K.J. Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *HortScience*, v. 31, n. 6, p. 926-929, 1996.
- RAO, N.H.; SARMA, P.B.S.; CHANDER, S. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, v. 13, p. 25-32, 1988.
- SILVA, D.D.; LOUREIRO, B.T.; BERNARDO, S.; GALVÃO, J.D. Efeito de lâminas e doses de nitrogênio na cultura do milho, irrigado por aspersão em linha. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 39, n. 222, p. 91-104, 1992.
- SILVA, E.F.F.; MIRANDA, J.H.; COELHO, R.D.; DUARTE, S.N.; FERREIRA, Y.R.P. Determinação da salinidade do solo utilizando extratores de cápsulas porosas e soluções diluídas (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., Pelotas, 1999. *Anais*. Pelotas: SBEA, 1999.
- SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas, 1998. *Manejo de irrigação*. Lavras: UFLA; SBEA, 1998. p.311-351.
- STORLIE, C.A.; HECKMAN, J.R. Bell pepper yield responses to carbonated irrigation water. *Journal of Plant Nutrition*, v. 19, n. 10/11, p. 1477-1484, 1996.
- WITTEWER, S.H. Aspects of CO<sub>2</sub> enrichment for crop production. *Transactions of the ASAE*, v. 13, n. 2, p. 249-251, 1970.