

Aplicação de doses de CO₂ via água de irrigação na cultura da alface¹

Tamara Maria Gomes²; Valéria Aparecida Modolo²; Tarlei A. Botrel²; Ricardo F. de Oliveira²

²USP, ESALQ, C. Postal 9, 13418-900 Piracicaba-SP; E-mail: tamara@aquasolo.com.br

RESUMO

A concentração de CO₂ na atmosfera vem aumentando significativamente desde a revolução industrial, estando hoje próximo de 365 mmol mol⁻¹, com tendência de aumento. Este trabalho teve como objetivo estudar a influência de doses crescentes de CO₂ via água de irrigação por gotejamento sobre o crescimento, o desenvolvimento, a fotossíntese e a produtividade da alface cultivar Elisa, bem como seus efeitos sobre a condutividade elétrica. O experimento foi conduzido sob túneis plásticos, em delineamento experimental inteiramente casualizado. Os tratamentos foram compostos por doses de CO₂: 0 (testemunha), 52; 155 e 310 kg ha⁻¹, aplicadas via água de irrigação. As irrigações foram realizadas diariamente com base na evaporação do tanque classe A, corrigida pelo coeficiente da cultura e do tanque. O número de folhas e a matéria seca da parte aérea da planta foram influenciados pela aplicação de CO₂ via água de irrigação, não ocorrendo o mesmo para matéria fresca e índice de área foliar. Os resultados indicaram a dose mensal de 153 kg ha⁻¹ de CO₂ como a mais adequada para ser empregada na cultura da alface via água de irrigação, com um aumento de aproximadamente 20,5% de produtividade, quando comparado à testemunha.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., dióxido de carbono, irrigação, fertirrigação, matéria seca.

ABSTRACT

Application of doses of CO₂ by means of irrigation water for lettuce

Carbon dioxide concentration in the atmosphere has been increasing since the industrial revolution. Nowadays it is approximately 365 mmol mol⁻¹, with a tendency to increase. The effect of CO₂ dosis, supplied by drip irrigation on lettuce development, plants growth, photosynthesis and productivity, and also the effects on electrical conductivity were evaluated. The experiment was conducted under plastic tunnels in a completely randomized block design. The treatments included CO₂ rates: 0 (control), 52; 155 and 310 kg ha⁻¹. Water was delivered daily to plants in order to replace lost volumes by evapotranspiration, based on estimates from class A evaporation pan, corrected by the crop and tank coefficients (Kc and Kp, respectively). The CO₂ use, via irrigation water, changed the leaves number and the shoot dry weight, but not the leaf area index and the fresh dry weight. The monthly use of 153 kg ha⁻¹ of CO₂, via irrigation water, is proper for lettuce since it increased the productivity in 20.5% when compared to the control.

Keywords: *Lactuca sativa* L., carbon dioxid, irrigation, fertigation, dry mass.

(Recebido para publicação em 21 de junho de 2003 e aceito em 16 de setembro de 2004)

Atualmente, devido à grande competitividade mundial dos produtos hortícolas, decorrente principalmente do excesso de produção, tem-se procurado classificar as mercadorias dentro de padrões. Para atender o novo mercado faz-se necessária a introdução de novas tecnologias e formas de manejo nos sistemas de produção das hortaliças (LUENGO; JUNQUEIRA, 1999).

A alface é a mais popular das hortaliças folhosas sendo cultivada em quase todas as regiões do globo terrestre. Entretanto, é bastante sensível às condições adversas de temperatura, umidade e chuva. Novas tecnologias de produção são necessárias visando propiciar aumentos significativos na produtividade e diminuição de riscos, tornando-a um produto mais competitivo e diferenciado (TARSITANO et al., 1999). O desenvolvimento de novas técnicas de

irrigação conjuntamente com a aplicação de fertilizantes bem como o advento do cultivo protegido tem possibilitado o crescimento da área plantada, o aumento da produtividade e dos períodos de produção de hortaliças ao longo do ano.

A aplicação de CO₂ na água ou no ar baseia-se no fato de que alguns processos fisiológicos ou bioquímicos das plantas são beneficiados por este gás, causando respostas positivas na produtividade em várias culturas agrícolas (MACHADO et al., 1999). O enriquecimento atmosférico com CO₂ é uma prática bastante antiga, praticada principalmente pelos agricultores europeus. Com o tempo a prática foi sendo aprimorada e surgiram equipamentos e técnicas adequadas para a aplicação em diversas condições de clima e diferentes sistemas de produção.

Recentemente no Brasil introduziu-se a aplicação de CO₂ via água de irrigação, aproveitando os sistemas de irrigação já existentes, com o objetivo de promover aumentos na produtividade das culturas. Apesar de haver pesquisas em que a aplicação de CO₂ através da água não tenha acarretado aumento na produção (STOFFELLA et al., 1995), há várias outras, conduzidas tanto em condições de casa de vegetação como de campo, que relatam incrementos significativos na produção de fitomassa total, na fotossíntese e na resistência ao estresse hídrico (BIALCZYK; LECHOWSKI, 1992).

Existem várias hipóteses citadas para esclarecer os efeitos provocados pela aplicação do CO₂ sobre a produtividade, a difusão do CO₂ do solo para o ar e a absorção de nutrientes. São objetos de estudo também as doses a serem utilizadas e períodos de aplicação mais

¹ Parte da tese apresentada à ESALQ/USP pela primeira autora, para obtenção do Título de doutora.

adequados para as espécies cultivadas, procurando alcançar uma ótima relação benefício/custo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento, desenvolvimento e produtividade da alface cultivar Elisa, submetida a quatro doses de CO₂ aplicadas via água de irrigação no decorrer do ciclo de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em campo da ESALQ. A área do experimento foi formada por quatro canteiros, com dimensões de 1,2 x 3,0 m cada um com quatro linhas de plantas, espaçadas de 0,3 m x 0,3 m, sendo que na formação dos canteiros toda a terra existente no local foi retirada e misturada em betoneira, a qual foi redistribuída aleatoriamente entre os quatro canteiros, com a finalidade de garantir uniformidade na fertilidade. Efetuou-se a análise química de solo, onde foram encontrados respectivamente para os canteiros 1; 2; 3 e 4: (303) (360) (180) e (195) mg dm⁻³ de P; (47) (51) (34) e (37) mg dm⁻³ de matéria orgânica; (5,4) (5,4) (4,5) (5,3) mmol_c dm⁻³ de K; (65) (73) (69) e (66) mmol_c dm⁻³ de Ca; (30) (28) (26) (23) mmol_c dm⁻³ de Mg; (14) (15) (15) e (13) mmol_c dm⁻³ de H+Al; (6,5) (6,5) (6,5) e (6,7) de pH em CaCl₂; e (88) (88) (87) e (88) de saturação por bases (v%). A adubação de plantio foi realizada após a formação dos canteiros, nas camadas de 0 a 0,2 m, com base nos resultados da análise e na recomendação de Rajj et al. (1999) para a cultura da alface, constituindo-se de 10 g planta⁻¹ de P₂O₅; 1,55 g planta⁻¹ de KCl e 0,05 g planta⁻¹ de ácido bórico. A adubação de cobertura foi parcelada em três aplicações durante o ciclo da cultura (7; 14 e 21 dias após o transplantio das mudas), utilizando-se 1,29 g de nitrato de cálcio por planta em cada aplicação.

As mudas da cultivar de alface Elisa Lisa foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido, empregando substrato comercial. Após 30 dias, quando as plantas emitiram a quinta folha verdadeira, foi feito o transplantio para os canteiros. Foi realizada a cobertura dos canteiros com túneis de armação de ferro, revestidos de filme de polietileno

de baixa densidade, tipo guarda chuva, com a finalidade de retardar a perda de CO₂ para atmosfera, aplicado via água de irrigação e evitar a incidência direta de chuvas sobre a cultura. Os túneis foram instalados nos períodos de precipitação pluviométrica e antes da irrigação, permanecendo sobre os canteiros por uma hora e meia a duas horas após a irrigação.

A irrigação foi por gotejamento, utilizando-se tubo gotejador Rain Tape TPC, fabricado pela Rain Bird, com espaçamento entre emissores de 0,2 m e vazão de 1,09 L h⁻¹. As irrigações foram feitas diariamente, com base na evaporação do Tanque Classe A, corrigido pelos coeficientes da cultura (BAS-TOS, 1994) e do tanque.

O sistema de aplicação de CO₂ via água de irrigação foi composto de um cilindro de CO₂, com fluxômetro na escala de 0,2 a 2,0 L min⁻¹, para quantificar o fluxo de gás a ser liberado pelo injetor. Cada canteiro recebeu diariamente uma dose de CO₂: 0 (testemunha), 2,5; 7,4 e 14,8 kg ha⁻¹, totalizando por ciclo de cultivo 0 (testemunha), 52; 155 e 310 kg ha⁻¹, para cada tratamento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo que cada canteiro foi composto por dez repetições.

A aplicação de CO₂ foi iniciada sete dias após o transplantio das mudas, sendo a quantidade aplicada diariamente, constante para cada tratamento, porém sua concentração variou com a demanda hídrica da cultura. O término da aplicação de CO₂ ocorreu por ocasião da colheita, 62 dias após a semeadura.

Para o estudo da condutividade elétrica na solução do solo, foram instaladas quatro baterias de extratores de solução com cápsulas a 0,2 m de profundidade, instalados a uma distância de 0,1 m da planta da alface, em cada canteiro. A coleta da solução foi realizada após a aplicação do CO₂, a cada sete dias, conforme descrito por Silvia et al., (2000).

A taxa de assimilação de CO₂ em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) ao longo de um dia, no período das 9:00 h às 17:00 h, foi medida utilizando-se um analisador de CO₂ (IRGA/Li-6400, Li-Cor ®). As medidas foram efetuadas na

folha mediana de uma planta, sorteada em cada tratamento. As medidas iniciaram dez dias após o transplantio das mudas, com duas repetições em cada tratamento ao longo do ciclo. Para que as radiações incidentes nos dias de leitura não influenciassem nos resultados, os valores de assimilação de CO₂ obtidos foram divididos pela radiação, do momento da leitura, calculando-se assim o rendimento (%).

Após a colheita foram avaliados: matéria fresca (MF), número de folhas (NF), matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF). Calculou-se a porcentagem média de matéria seca de cada tratamento, para determinação da porcentagem de umidade, com a finalidade de reduzir as variações de perda de umidade das plantas durante o processo de colheita e avaliação. Este valor foi utilizado como padrão para cálculo da nova matéria fresca. Com base na nova matéria fresca e stand de plantas determinou-se a produtividade da cultura.

Para verificar a relação funcional entre as variáveis estudadas em função das doses de CO₂, foram plotados os diagramas de dispersão entre as variáveis e ajustadas equações de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em grande parte das pesquisas que relatam a influência da aplicação de CO₂ via água de irrigação na produtividade, os resultados indicam ação do CO₂ na fotossíntese. Neste experimento, os valores de assimilação de CO₂ em função das horas do dia, utilizando-se o analisador de gás por infravermelho (IRGA), são apresentados na Figura 1. Foi observado o mesmo comportamento para todos os tratamentos estudados, não obtendo respostas na assimilação de CO₂ presente na atmosfera em função de acréscimos de gás carbono aplicado via água de irrigação, o que também foi verificado por Cararo e Duarte (2002) em plantas de tomateiro, provavelmente devido a rápida dispersão do gás durante a irrigação. A mesma dissipação de CO₂ foi verificada por Storlie e Heckman (1996), não justificando os incrementos obtidos na produção das plantas de pimentão, pelo aumento de CO₂ na atmosfera. Aumentos obtidos na

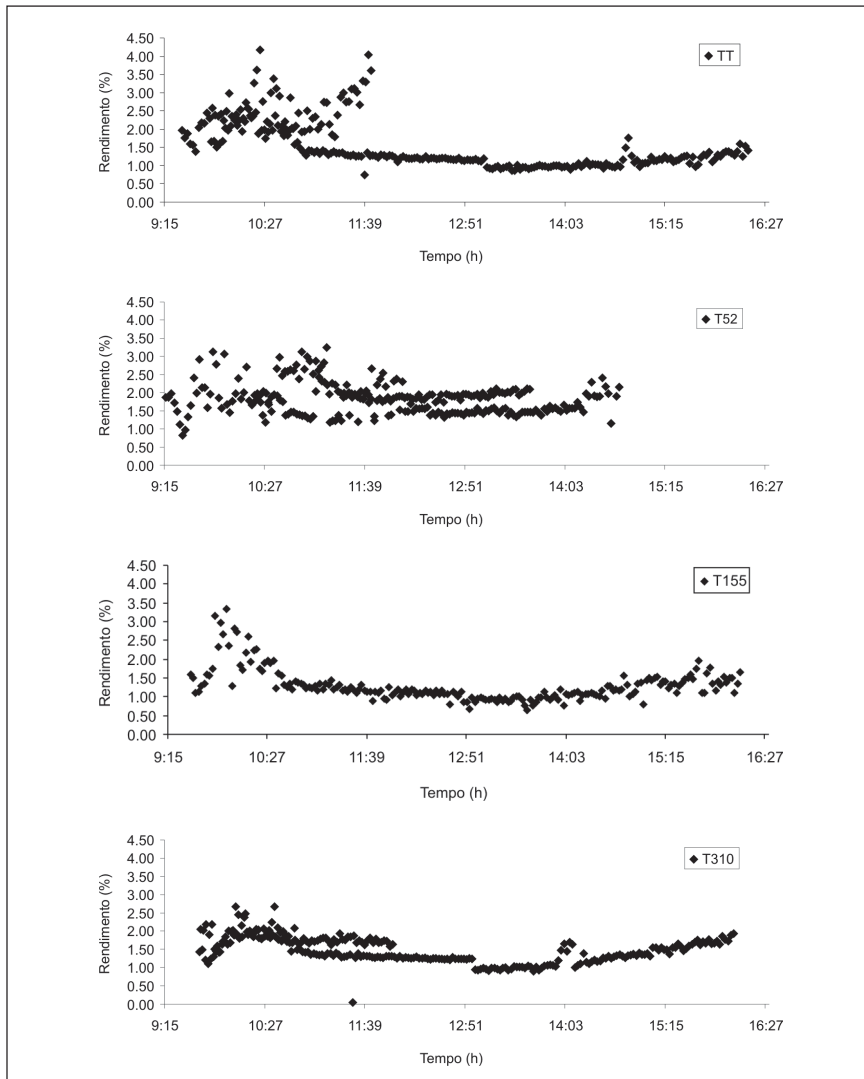


Figura 1. Relação entre assimilação de CO_2 e a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), para as dosagens de CO_2 de 0 (TT), 52 (T52), 155 (T155) e 310 (T310) kg ha^{-1} , ao longo do dia. Piracicaba, ESALQ/USP, 1999.

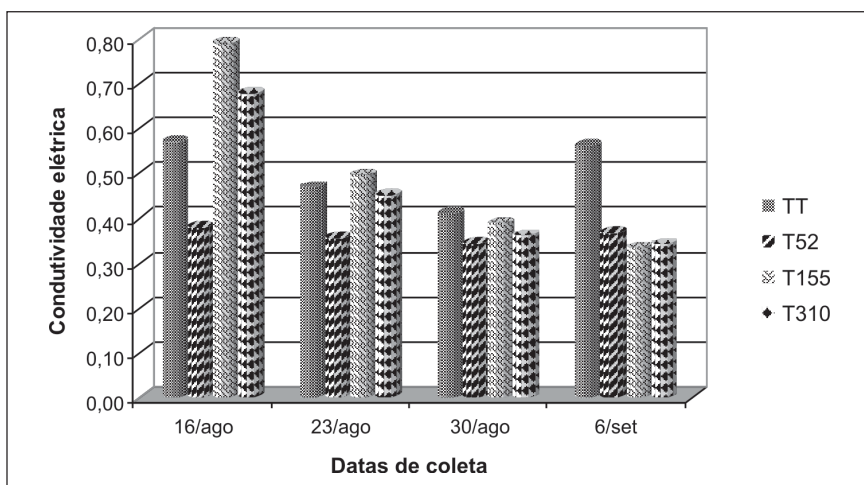


Figura 2. Condutividade elétrica (dS m^{-1}) da solução do solo para as dosagens de CO_2 de 0 (TT), 52 (T52), 155 (T155) e 310 (T310) kg ha^{-1} , nas quatro datas de coleta da solução. Piracicaba, ESALQ/USP, 1999.

produtividade de tomateiro pela aplicação de CO_2 via água de irrigação em experimento conduzido por Novero et al. (1991) foram associados à combinação da limitação de escape de CO_2 atmosférico pela utilização de “mulch” e modificações físico-químicas do solo, melhorando a absorção de nutrientes. Andria (1990) também verificou enriquecimento atmosférico de CO_2 , na cultura do tomateiro, aplicado via água de irrigação, para os tratamentos que receberam cobertura a 15 cm de altura do solo, porém apenas no dia da irrigação.

Para condutividade elétrica, o valor de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ é recomendado por Ayers e Westcot (1991) como sendo a máxima salinidade tolerada pela cultura da alface. Segundo Ayers e Westcot (1991), Blanco et al. (1999) e Silva et al. (2000), respectivamente, o aumento da salinidade em uma unidade pode resultar em decréscimos de 9,9%; 13,0% e 17,5% na produtividade da alface. Neste aspecto, todos os valores obtidos no presente experimento mantiveram-se abaixo do valor recomendado, não havendo diferença na condutividade entre os tratamentos estudados (Figura 2). O mesmo foi observado por Cararo e Duarte (2002) quando da aplicação de CO_2 na água de irrigação para a cultura do tomateiro.

A aplicação de CO_2 via água de irrigação modificou o desenvolvimento da cultura proporcionando diferenças para as características analisadas (Figura 3). O número de folhas (NF) e a massa da matéria seca (MS) da parte aérea da planta foram significativamente influenciadas pela aplicação de CO_2 via água de irrigação, não constatando o mesmo para matéria fresca (MF) e índice de área foliar (IAF). A resposta das doses de CO_2 via água de irrigação para as características estudadas, foi de natureza quadrática, porém com baixo coeficiente de correlação devido à dispersão dos dados. A influência dos tratamentos na MS e a sua não alteração na MF pode indicar acúmulo de nutrientes na planta pelo o acréscimo de CO_2 , Novero et al. (1991) observaram por ocasião da aplicação de água com CO_2 , um aumento aparente nos nutrientes encontrados nas folhas de tomate, principalmente o zinco, e atribuíram esse efeito ao decrés-

cimo do pH do solo, favorecendo a maior disponibilização de nutrientes para a planta.

A regressão ajustada entre a quantidade de CO₂ aplicada via água de irrigação e as características matéria seca e número de folhas indica a dose mensal de 153 kg ha⁻¹ de CO₂ como a mais adequada para ser empregada na cultura da alface via água de irrigação. Ibrahim (1992) ressaltava a importância em se definir a dose de CO₂ aplicada, principalmente quando se visa promover benefícios econômicos e fisiológicos.

A produtividade da alface observada para as doses de CO₂ 0; 52; 155 e 310 kg ha⁻¹ foi de 22; 26; 26,5 e 22,5 t ha⁻¹, respectivamente, apresentando um aumento de 20,5% para a dose de 155 kg ha⁻¹ e 18,2% para a dose de 52 kg ha⁻¹, em relação à testemunha (0 kg ha⁻¹). Embora utilizando técnica de aplicação diferente, Kretchman e Howlett (1970) encontraram aumentos entre 10 e 20% na produtividade da alface, quando o enriquecimento de CO₂ foi atmosférico. Furlan et al. (2001) analisaram os efeitos promovidos pela aplicação de CO₂ via água de irrigação na cultura da alface e registraram um aumento de 27% na produtividade, valor bastante alto, considerando a cultura em discussão. Guri et al. (1999) aplicaram CO₂ via água de irrigação na cultura do pimentão e verificaram aumento na área foliar das plantas, associado ao aumento de fotoassimilados, resultando em maiores números de frutos e acréscimo de 10% na produtividade, provavelmente devido ao efeito do CO₂ sobre a fotossíntese da cultura. Entretanto Storlie e Heckman (1996), não encontraram resposta positiva na produtividade, absorção de nutrientes e precocidade em plantas de pimentão. Para Andria (1990) a produtividade dos frutos de tomateiro foi aumentada pela aplicação de CO₂ via água de irrigação somente para o tratamento que recebeu cobertura, favorecendo o aprisionamento do CO₂ no microclima das plantas.

Embora tenha-se encontrado que a dose de 153 kg ha⁻¹ de CO₂ foi adequada para as condições que foi realizado este trabalho, a análise de fotossíntese e condutividade elétrica não foram suficientes para revelar efeito do CO₂ nos

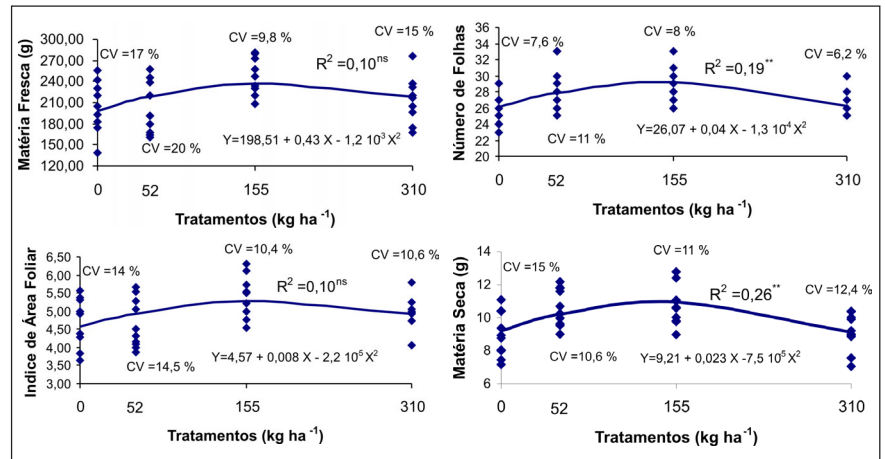


Figura 3. Diagrama de dispersão dos valores de matéria fresca, número de folhas, índice de área foliar e matéria seca observados e estimados pelo modelo, para os tratamentos 0; 52; 155 e 310 kg ha⁻¹ de CO₂ aplicados via água irrigação. ESALQ/USP. Piracicaba-SP, 1999.

mecanismos da cultura. Além da condutividade elétrica outras variáveis devem ser investigadas, como concentração de nutrientes na solução do solo, para fornecer mais subsídios na elucidação desse mecanismo.

AGRADECIMENTO

À FAPESP, pela concessão dos recursos financeiros utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ANDRIA, D.R. Drip irrigation of tomato using carbonated water and mulch in Colorado. *Acta Horticulturae*, n.278, p.179-185, 1990.
- AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29, Revisado I).
- BASTOS, E.A. *Determinação dos coeficientes da cultura da alface (Lactuca sativa L.)*. 1994. 101 f. (Tese mestrado) - FCA, UNESP, Botucatu.
- BIALCZYK, J.; LECHOWSKI, Z. Absorption of HCO₃⁻ by roots and its effect on carbon metabolism of tomato. *Journal of Plant Nutrition*, v.15, p.293-312, 1992.
- BIALCZYK, J.; LECHOWSKI, Z.; LIBIK, A. A growth of tomato seedlings under different HCO₃⁻ concentration in the medium. *Journal of Plant Nutrition*, v.17, p.801-816, 1994.
- BLANCO, F.F.; MEDEIROS, J.F.; FOLEGATTI, M.V. Produção da alface (*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido sob condições salinas. (Compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. *Anais... Pelotas*: UFPEL, 1999.
- CARARO, D.C.; DUARTE S.N. Injeção de CO₂ e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.20, n.3, p.432-437, 2002.

FURLAN, R.A.; ALVES, D.R.B.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T. A.; MINAMI, K. Dióxido de carbono aplicado via água de irrigação na cultura da alface. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.19, p.25-29, 2001.

GURI, S.; MARFÁ, O.; SAVÉ, R. *Efecto de la irrigación carbónica en la producción de un cultivo de pimiento*. Barcelona: IRTA, Departamento de Tecnología Hortícola, 1999. 6 p.

IBRAHIM, A. Response of plant to irrigation with CO₂-enriched water. *Acta Horticulturae*, n.323, p.205-214, 1992.

KRETCHMAN, D.W.; HOWLETT, F.S. CO₂ enrichment for vegetable production. *Transaction of the ASAE*, v.13, p.252-256, 1970.

LUENGO, R.F.A.; JUNQUEIRA, A. *Distribuição de hortaliças no Brasil*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 1999. 7 p. (Circular Técnica, 16).

MACHADO, E.C.; TAKANE, R.J.; FERRO, R. Aplicação de CO₂ via água de irrigação em agricultura. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) *Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 1999. cap. 4, p. 345-353.

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.83, p.911-916, 1991.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2 ed. Campinas: IAC, 1996. p.168-168: Alface. (IAC. Boletim, 100).

SILVA, E.F.F.; ANTI, GR.; CARMELLO, Q.A.C.; DUARTE, N.S. Extratores de cápsula porosa e o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. *Scientia Agricola*, v.57, p.785-789, 2000.

STOFFELLA, P.J.; LI, Y.; PELOSI, R.R.; HAMER, A.M. Citrus rootstock and carbon dioxide enriched irrigation influence on seedling emergence, growth, and nutrient content. *Journal of Plant Nutrition*, v.18, p.1439-1448, 1995.

STORLIE, C.A.; HECKMAN, J.R. Bell pepper yield response to carbonated irrigation water. *Journal of Plant Nutrition*, v.19, p.1477-1484, 1996.

TARSITANO, M.A.A.; PETINARI, R.A.; DOURADO, M.C. Viabilidade econômica do cultivo de alface em estufa no município de Jales-SP. *Cultura Agrônômica*, v.8, p.99-108, 1999.