

Plantas de pimentão cultivadas em ambiente enriquecido com CO₂.

I. Crescimento vegetativo

Fátima Conceição Rezende^{1*}, José Antonio Frizzone², Tarlei Arriel Botrel² e Anderson Soares Pereira⁴

¹Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, C.P. 37, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

²Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queróz", Universidade de São Paulo, C.P. 9, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. ⁴Departamento de Ciências Exatas, Esalq/USP, C.P. 9, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: frezende@ufla.br

RESUMO. O experimento foi conduzido na ESALQ/USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo, com o objetivo de estudar o efeito do aumento da concentração de CO₂ e do volume de água aplicados em plantas de pimentão, *Capsicum annuum* L. (Solanaceae), cultivadas em vasos, em ambiente protegido. O CO₂ foi aplicado diariamente, através de microtubos instalados a 3m de altura, sobre a linha de plantas. Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento com um gotejador por planta e frequência de dois dias. Adotaram-se quatro concentrações de CO₂ (367, 600, 800 e 1000 μmol.mol⁻¹) e quatro volumes de água, definidos pelo volume de água evapotranspirado (30,89L, 40,7L, 61,86L e 82,83L), com quatro repetições. Foram avaliadas as características altura das plantas, diâmetro do caule e área foliar. Verificou-se que o aumento do volume de água promoveu acréscimo na altura, diâmetro e área foliar. Nos ambientes enriquecidos com CO₂ a área foliar foi menor e o crescimento vegetativo na fase inicial foi mais uniforme.

Palavras-chave: crescimento vegetativo, pimentão, irrigação, enriquecimento de CO₂.

ABSTRACT. Bell plants cultivated pepper grown in CO₂ enriched environment. I. Vegetative growth. The experiment was carried out at Esalq/USP, Piracicaba/SP. The objective of this work was to study the effects of elevated CO₂ concentrations and water volume on pepper crops, *Capsicum annuum* L. (Solanaceae), planted in pots inside plastic greenhouse. The CO₂ was applied daily through micro tubes installed at 3m high over the rows of plants. A drip irrigation system, having one drip by plant, was used to irrigate the pots every other day. Four levels of CO₂ (367, 600, 800 and 1000 μmol.mol⁻¹) and four water volumes (30,89L; 40,7L; 61,86L and 82,83L) with four replications were used. The height of plants, stem diameter and leaf area were analysed. It was observed that an increase in the water volume also increased the value of the plant parameters studied. In CO₂ enriched environments leaf area decrease and initial vegetative growth was more uniform.

Key words: crop growth, pepper, irrigation, CO₂ enrichment.

Introdução

O uso do gás carbônico (CO₂), no enriquecimento de ambientes protegido para cultivo de hortaliças, flores e frutas vem sendo estudado desde o início do século XX como recurso para aumentar a produtividade e qualidade do produto, bem como estudar o desempenho das plantas em ambientes com elevada concentração de CO₂, tendo em vista o aumento da concentração atmosférica. Atualmente, a concentração de CO₂ na atmosfera é de aproximadamente 367 μmol.mol⁻¹ e a taxa de crescimento anual é de 1,5 μmol.mol⁻¹ (Keeling e

Whorf, 1999) De acordo com Schaffer *et al.* (1999), a concentração de CO₂ na atmosfera poderá atingir 600 μmol.mol⁻¹ em 2050 e, sem dúvida, afetará a agricultura, uma vez que o enriquecimento do ambiente com CO₂ quase sempre aumenta a produção de biomassa em plantas C₃. No entanto, não há consenso sobre os efeitos quantitativos do aumento do dióxido de carbono no crescimento, devido às diferenças entre as espécies e ao efeito de fatores ambientais que limitam a resposta da planta ao CO₂ (Morrison e Gifford, 1984a). Os fatores que afetam o metabolismo do carbono e, conseqüentemente, a produtividade são a água, nutrientes, temperatura e luz (Pimentel, 1998).

O aumento da fotossíntese líquida pode resultar em aumento na produtividade, desde que outros fatores, como a taxa de expansão foliar e translocação de nutrientes sejam constantes, ou aumentem concomitantemente com a taxa de fotossíntese líquida (Bravdo, 1986). A assimilação de CO₂ pelas plantas, conforme relata o autor, é limitada principalmente pela composição normal da atmosfera. De acordo com Andriolo (1999), quando a concentração de CO₂ é elevada para valores entre aproximadamente 700 e 1000 µL L⁻¹, obtém-se um aumento na fotossíntese da ordem de 20 a 25%, aumentando a eficiência das reações enzimáticas e ao mesmo tempo diminui a fotorrespiração da planta.

Conforme relatos de Mortensen (1987), as plantas cultivadas em vasos, flores para corte, hortaliças e espécies florestais respondem ao aumento da concentração de CO₂ através do acréscimo do peso de matéria seca, altura da planta, número de folhas e brotos laterais. Trabalho conduzido por Caporn (1989), com alface em ambiente enriquecido com CO₂, apresentou aumento na produtividade entre 27% e 51%, em plantas de 30 e 36 dias. Verificou-se, também, um aumento na taxa de emergência e de crescimento das folhas, porém, o efeito na área foliar da quarta folha, no final do ciclo, foi pequeno. Já Peñuelas et al. (1995) observaram que a área foliar e a área específica de plantas de pimentão reduziram com o aumento da concentração de CO₂.

Neste trabalho, avaliou-se o efeito do aumento da concentração de CO₂ e do volume de água aplicado na altura, diâmetro do caule e área foliar de plantas de pimentão, *Capsicum annum* L. (Solanaceae).

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo. As coordenadas geográficas do local são 23°42”, de Latitude Sul, 47°38”, de Longitude Oeste, a altitude de 520 metros.

Conforme classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo CWA, subtropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. Os dados climáticos da região apresentam temperaturas médias mensais variando de 24,8°C no verão e 17,1°C no inverno, sendo a média anual igual a 21,4°C. As chuvas são da ordem de 1278 mm anuais, ocorrendo cerca de 1000 mm de outubro a março e 278 mm de abril a setembro (Sentelhas, 1998).

O trabalho foi conduzido em 4 estufas, instaladas no sentido leste-oeste, com cobertura em arco,

tendo 8,75 m de comprimento, largura de 7,0 m e pé direito de 3,0 m. As fachadas laterais e frontais foram envolvidas com tela de polipropileno branco de 1,0 mm. O teto foi coberto com filme plástico de polietileno transparente de 150 micras, com tratamento anti-UV. As fachadas laterais e frontais também foram fechadas com o mesmo material e apresentavam um sistema de manivela para abrir as cortinas.

Em cada uma das quatro estufas foram colocadas duas bancadas de madeira, com 4,0 m de comprimento, 0,54 m de largura e 0,70 m de altura. O espaçamento entre as bancadas e entre as fachadas laterais da casa de vegetação foi de 2,0 m e entre as fachadas frontais foi de 2,30 m. Sobre cada bancada foram colocados oito vasos com capacidade de 20 L, espaçados de 0,50 m, com uma planta por vaso.

Em uma das estufas foi colocada uma bancada de 2,0 m de comprimento, 0,54 m de largura e 0,70 m de altura, entre as duas bancadas, para colocação de 3 vasos com uma planta, semelhante aos demais, utilizados para o controle da irrigação.

O experimento foi composto pela combinação de dois fatores: (a) ambiente: quatro concentrações de CO₂ definindo os seguintes tratamentos: C4 = concentração normal da atmosfera, aproximadamente 367 µmol.mol⁻¹; C3 = 600 µmol.mol⁻¹; C2 = 800 µmol.mol⁻¹ e C1 = 1000 µmol.mol⁻¹; (b) aplicação de quatro volumes de água definidos em relação à evapotranspiração da planta (Vet): V1 = 0,5Vet (30,89 L); V2 = 0,65Vet (40,7 L); V3 = 1,0Vet (61,86 L) e V4 = 1,35Vet (82,83 L). Cada tratamento constou de 4 repetições casualizadas em cada ambiente.

Foram utilizados 67 vasos com capacidade de 20 litros (área de 0,075 m²). No fundo destes, fez-se um furo e adaptou-se um conector de 7 mm e um tubo interligando o vaso a uma garrafa de 2 litros para coletar o volume de água percolado.

No interior dos vasos, colocou-se uma camada de brita número 1 e sobre esta uma manta geotêxtil (bidim). O conjunto foi pesado e mantido um peso constante de 2,5 kg para todos os vasos. A seguir completou-se o volume do vaso com solo peneirado e adubado conforme recomendação da análise de fertilidade, sendo incorporado calcário, esterco de curral curtido e P₂O₅. O peso total de cada vaso foi 20 kg. Adicionou-se água aos vasos, até iniciar percolação e, a seguir, foram cobertos com sacos plástico até 3 dias antes do transplante.

A espécie plantada foi o pimentão (*Capsicum annum* L.), híbrido Zarco, o qual apresenta formato retangular e coloração verde/amarela. Medem de 12 a 16cm de comprimento, 8 a 10cm de diâmetro (ou

largura) e peso entre 200 e 260 gramas (Tivelli, 1998). As mudas foram transplantadas para os vasos no dia 30/05/2000 quando apresentavam dois pares de folhas verdadeiras, colocando uma planta por vaso. O N e K₂O foram aplicados após o plantio das mudas sendo as doses definidas em função da análise de fertilidade do solo. Todas as brotações laterais, antes da bifurcação, foram eliminadas e as plantas foram conduzidas com quatro hastes. Eliminou-se a primeira flor que surgiu na bifurcação.

A primeira adubação de cobertura foi realizada aplicando N e K₂O, diluídos em água. Posteriormente, com base nos resultados da análise de fertilidade do solo, as adubações de cobertura foram parceladas em 17 vezes, aplicando-se em cada parcelamento N, K₂O, P e Ca. Foram realizadas 3 aplicações foliares de Ca, Boro, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn com base nos resultados da análise foliar.

O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente. O controle fitossanitário consistiu de aplicação de fungicidas à base de enxofre para controlar a ocorrência de *Oidiopsis sicula*, e o controle de pragas, tais como trips (*Thrips tabaci*), larva minadora (*Liriomyza* spp) e ácaro branco (*Poliphagotarsomenus latus*), foi realizado por ocasião do seu aparecimento, através de pulverizações com inseticidas específicos.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, com um emissor por vaso, operando a uma pressão de 98,1 kPa e vazão nominal de 4,0 L.h⁻¹. A uniformidade de emissão dos 67 gotejadores foi 98,17%. Cada parcela, formada por 4 vasos, representava um tratamento de volume de água aplicado, controlado pelo tempo de aplicação. Adotou-se um turno de rega de dois dias e o volume de água aplicado em cada tratamento foi definido com base no volume de água evapotranspirado (Vet), determinado pela pesagem diária de 3 vasos com plantas, localizados na estufa sem enriquecimento de CO₂ e irrigados com um volume igual ao consumido por evapotranspiração. Até o dia 14/06/2000 todas as plantas foram irrigadas repondo o volume de água evapotranspirado para garantir o pegamento das mudas.

A aplicação do CO₂ nas estufas foi aérea, e o sistema de aplicação consistiu de um cilindro com capacidade de 25 kg, para armazenamento do gás em alta pressão, equipado com válvula dosadora, para especificar a vazão do gás a ser liberado, manômetro e fluxômetro. O cilindro foi instalado entre as estufas, e o gás foi conduzido até o centro das mesmas, em tubos com diâmetro de 3/8". O gás foi distribuído a uma altura de 3,0 m, através de dois segmentos de tubos, um sobre cada bancada, sendo

o gás liberado no ambiente por micro tubos inseridos na tubulação. No interior de cada um dos três ambientes com enriquecimento de CO₂ foram colocados um fluxômetro e dois registros sendo que, um deles possibilitou a liberação do gás para fazer a regulação da vazão e o outro liberou o gás no ambiente. A aplicação do gás iniciou-se em 14/06/2000, após o pegamento das mudas, sendo realizada diariamente no período da manhã, durante uma hora. Durante a aplicação, as estufas eram mantidas fechadas e, uma hora após o término da aplicação, as cortinas eram abertas. A concentração de CO₂ foi medida periodicamente utilizando-se um analisador de gás, modelo LI-800, fabricado pela Licor Inc./EUA. A cada 15 minutos eram feitas as leituras de CO₂, dentro das casas de vegetação e, no ambiente fora das mesmas, iniciando-se antes da aplicação do gás e prolongando até a abertura das cortinas, quando a concentração de CO₂ se igualava à concentração do ambiente externo.

A altura e o diâmetro do caule de todas as plantas do experimento foram medidas utilizando-se trena graduada em centímetros e paquímetro digital, respectivamente, assumindo como referência um ponto próximo do primeiro internódio. A área foliar foi medida em três plantas de cada tratamento de irrigação, em todas as estufas (48 plantas), medindo-se o maior comprimento e a maior largura com uma régua graduada em centímetros. Foram realizadas nove medições durante o experimento, sendo que o último conjunto de dados foi obtido no final do experimento, e a área foliar foi determinada utilizando um medidor de área foliar, marca Li-cor, modelo LI-3100. Em uma amostra de 343 folhas determinou-se a área de um retângulo, definido pelo comprimento e pela largura da folha, e a área da folha pelo medidor de área foliar, que foram relacionadas pela seguinte equação:

$$y = 0,5979 x \quad R^2 = 0,9910$$

sendo y a área da folha (cm²), e x a área correspondente ao produto do comprimento pela largura da folha (cm²). Utilizou-se essa equação para calcular a área foliar da planta.

Resultados e discussão

Altura da planta

Analisando o efeito do volume de água aplicado nas plantas ao longo do ciclo, verifica-se que a altura da planta na fase inicial (13 dias após o transplante - DAT) foi uniforme em todos os ambientes (Figura 1), variando de 14 a 15,5 cm. Nos ambientes C1 e C3, até 41 DAT, não houve diferença entre os volumes de água aplicados; a partir dessa época o crescimento aumentou evidenciando o efeito do

aumento do volume de água aplicado. No ambiente C2, o crescimento das plantas, para todos os volume de água aplicados, não apresentou diferença até 82 DAT; posteriormente houve diferenciação sendo que nas duas últimas medidas a maior diferença entre as alturas, 19,85% em média, ocorreu entre V2 e V3. No ambiente sem enriquecimento de CO₂ (C4), as diferenças na altura das plantas, em função do volume de água aplicado, ocorreram a partir do 28º DAT e no final do ciclo a diferença entre as plantas irrigadas com maior volume de água (V3 e V4) e as plantas irrigadas com volume V2 foi, em média, da ordem de 24,5%.

Considerando o efeito do gás carbônico na altura da planta, observa-se, na Figura 2, que para o menor volume de água aplicado (V1) a altura da planta foi maior nos ambientes C2 e C3 até 133 DAT. Quando se aumentou o volume para 40,7L, verificou-se que a menor altura ocorreu no ambiente C3 até 113 DAT; após essa época as alturas igualaram-se aos ambientes C2 e C4 e, no ambiente C1, as plantas foram mais altas. Até 82 DAT as plantas do tratamento V3 não apresentaram diferenças em altura, para todas as concentrações de CO₂ analisadas e, após essa data, ocorreu diferenciação, e as plantas do ambiente C3 apresentaram menor altura. A menor altura das plantas neste tratamento pode ter sido causada pela incidência de *oidiopsis sicula* observada aos 90 DAT, não afetando os demais tratamentos devido ao controle realizado com pulverizações semanais com produto a base de enxofre. Nos ambientes com maior concentração de CO₂ (C1 e C2) as plantas irrigadas com volume V4 foram menores do que as plantas dos ambientes C3 e C4, porém, a diferença foi em média de 3,0 cm.

Comparando-se as Figura 1 e 2, verifica-se que a altura das plantas foi mais influenciada pelo volume de água aplicado do que pela concentração de CO₂ e que o efeito do gás foi mais evidenciado nos menores volumes de água aplicados. Nos ambientes com enriquecimento de CO₂, a diferenciação dos tratamentos foi mais tardia do que no ambiente sem enriquecimento de CO₂, indicando que o aumento da concentração de gás carbônico proporcionou um crescimento uniforme das plantas até 41 DAT. No final do ciclo, não foram observadas diferenças significativas entre as alturas das plantas nas diferentes concentrações de gás. Resultados obtidos por Peñuelas et al. (1995) demonstraram que o aumento da concentração de CO₂ no ambiente retardou o aumento da biomassa total da cultura de pimentão, sendo o mesmo significativo 50 dias após o início do tratamento. Verifica-se, também, que a

taxa de crescimento da planta entre 55 e 82 DAT foi pequena para todas as concentrações de CO₂ e volume de água aplicado e, o mesmo pode estar relacionado com o número de frutos existentes nas plantas, que em média eram de 8 frutos por planta, uma vez que uma carga elevada de frutos é negativa para o crescimento das partes vegetativas.

O maior coeficiente de variação entre as medidas de altura de plantas foi de 17,44% observada no ambiente C2 e volume de água V4 e o menor coeficiente foi de 0,61% verificado no ambiente C3 e volume de água V2.

Diâmetro do caule

Em todas as concentrações de gás analisadas, observou-se que no início do ciclo, as plantas apresentavam diâmetro de caule homogêneo e que o mesmo aumentou com o aumento do volume de água aplicado (Figura 3). A taxa de crescimento foi mais acentuada até 55 DAT, entretanto, no período compreendido entre 55 e 82 DAT, houve uma redução na taxa de crescimento. No ambiente C1, os diâmetros de caule para os maiores volumes de água aplicados, não apresentaram diferenças significativas. O mesmo pode ser observado no ambiente C3, onde se verificou que o diâmetro do caule das plantas irrigadas com volume V1 e V2 foram menores do que das plantas irrigadas com volume V3 e V4. No ambiente sem enriquecimento de CO₂, após 28 DAT, a diferença no diâmetro do caule em função do volume de água aplicado foi maior do que nos ambientes C1 e C3.

A concentração de CO₂ não teve efeito significativo no diâmetro do caule (Figura 4), principalmente nos tratamentos que receberam maior volume de água (V3 e V4). Para os menores volumes de água, no período compreendido entre 28 e 111 DAT, verificaram-se diferenças nos diâmetros de caule em função da concentração de CO₂. As plantas irrigadas com volumes V3 e V4 apresentaram um padrão de desenvolvimento semelhante em todos os ambientes e não houve efeito do CO₂. No final do ciclo da cultura o diâmetro do caule foi igual em todos os ambientes.

Comparando-se as Figuras 3 e 4 verifica-se que o volume de água aplicado teve um efeito mais evidenciado no diâmetro do caule do que a concentração de gás carbônico, principalmente nas avaliações realizadas após 111 DAT. O maior coeficiente de variação dos dados de diâmetro de caule foi observado no ambiente C1 e volume V1 (11,72%) e o menor foi de 0,70% no ambiente C3 e volume V3.

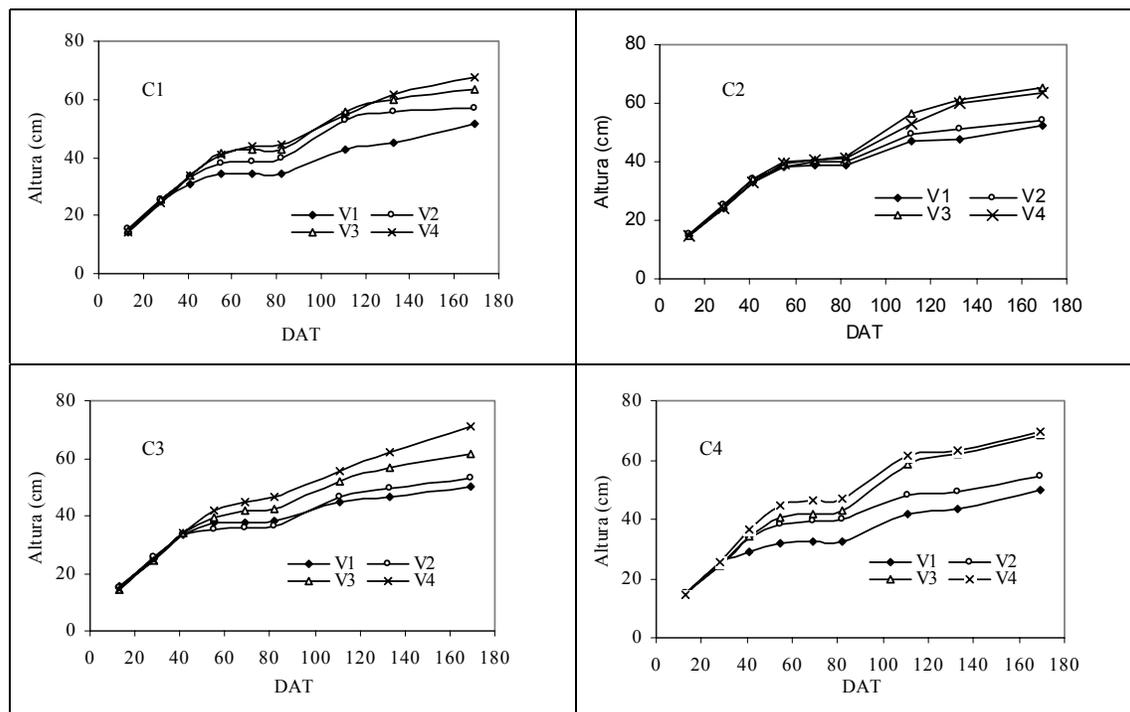


Figura 1. Altura média das plantas em função dos volumes de água aplicado e da concentração de CO₂. Esalq/USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, 2000

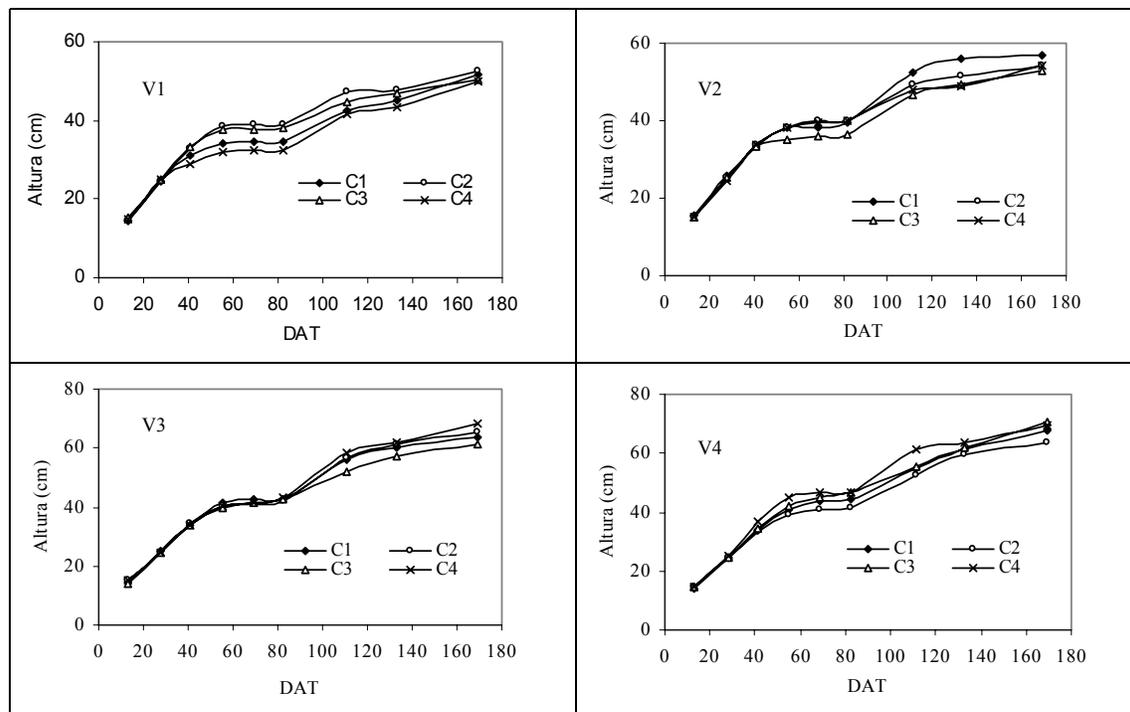


Figura 2. Altura média das plantas em função das concentrações de CO₂ para cada volume de água aplicado. Esalq/USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, 2000

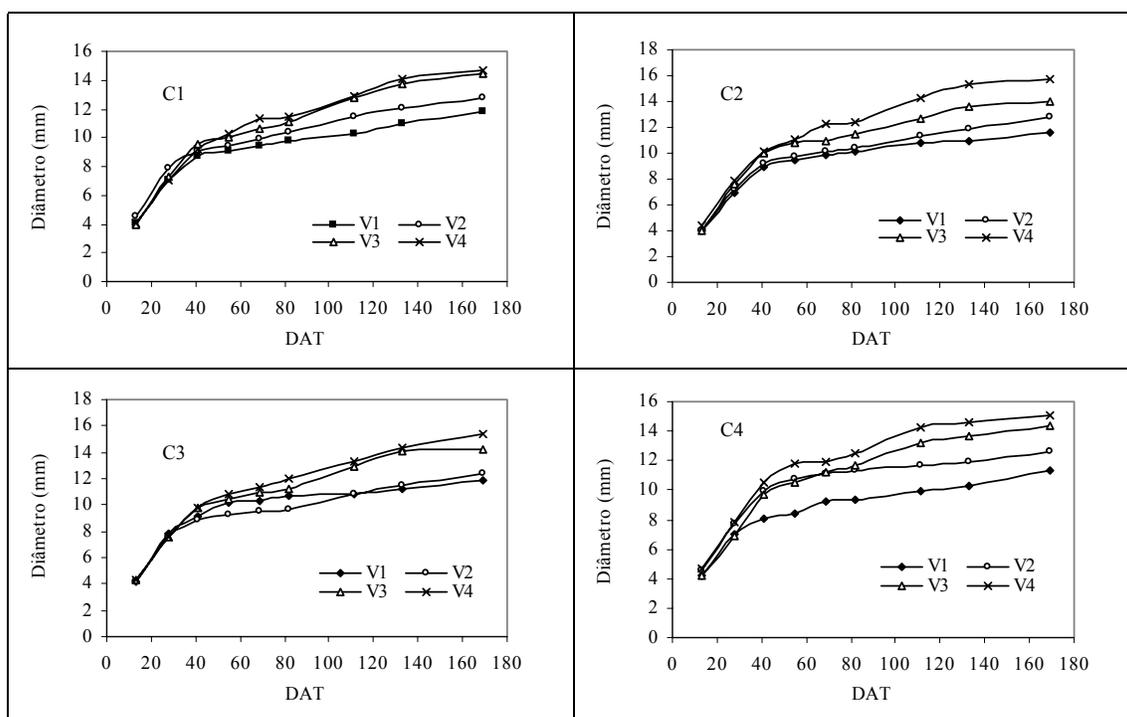


Figura 3 Diâmetro médio do caule em função dos volumes de água aplicados para cada concentração de CO₂. Esalq/USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, 2000

Trabalho realizado por Baron e Gorski (1986), durante dois períodos de aproximadamente 30 dias, sendo um com baixa intensidade de luz e temperatura dia/noite de 24/19°C e o outro com alta intensidade de luz e temperatura dia/noite de 30/24°C, com plantas de berinjela cultivada em solo coberto com manta de polietileno preta e com aumento da concentração de CO₂ no sistema radicular, variando de 0,03% (300 ppm) e 15% (1500 ppm) e concentração de oxigênio de 20%, verificou que o diâmetro do caule aumentou significativamente para concentrações de CO₂ acima de 0,03%. Estes resultados são distintos dos dados obtidos neste experimento com pimentão, embora a forma de aplicação de gás não tenha sido a mesma e, conseqüentemente, o efeito sobre a planta também será diferente.

Área foliar

Os valores de área foliar medida durante o ciclo da cultura estão apresentados nas Figuras 5 e 6. Na Tabela 1, encontram-se os valores médios obtidos na última avaliação. Verifica-se que a área foliar da cultura tendeu a aumentar com o aumento do volume de água aplicado. No ambiente C1, a maior área foliar foi registrada no tratamento que recebeu 61,86 L, indicando que para essa concentração de CO₂ o maior volume de água limitou o crescimento da planta. No ambiente C2 a taxa de

crescimento foi maior para V3 e V4, que não diferem entre si, porém, apresentam diferenças em relação a V2 que variam de 23,5% a 46%. As plantas do tratamento V1 apresentaram a menor área foliar em decurso da acentuada queda de folhas ocorrida 69 DAT. Essa queda de folhas, imprevista, pode ter sido causada por algum resíduo de produto químico existente no pulverizador. No ambiente C4 as plantas irrigadas com volume V1 apresentaram acentuada taxa de acréscimo na área foliar após 82 DAT. Embora com menor taxa de crescimento, este tratamento apresentou aumento contínuo até o final do experimento não diferindo significativamente do tratamento V4. Provavelmente a área foliar foi maior, pois houve queda de flores inviabilizando a formação de frutos e favorecendo o aumento da área foliar.

Tabela 1. Médias de área foliar das plantas (cm²) para as diferentes combinações de volume de água aplicado (litros/planta) e concentrações de CO₂ (mmol.mol⁻¹). Esalq/USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, 2000

Volume de água aplicado	Concentração de CO ₂			
	367 (C4)	600 (C3)	800 (C2)	1000 (C1)
30,89 (V1)	1714,71 b C	1092,44 a AB	978,74 a A	1178,83 ab B
40,70 (V2)	1316,02 a BC	1388,49 ab C	1063,45 a AB	1013,07 a A
61,86 (V3)	1566,77 ab A	1503,27 b A	1524,27 b A	1365,99 b A
82,83 (V4)	1814,23 b BC	1931,98 c C	1515,98 b AB	1346,02 b A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

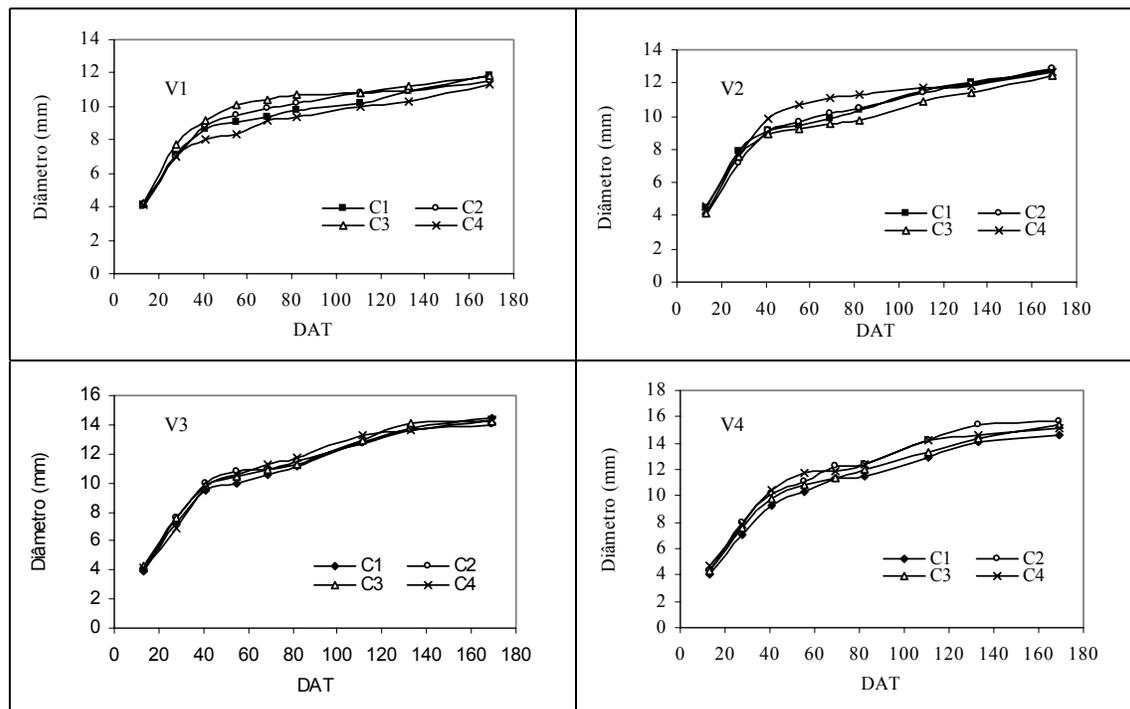


Figura 4. Diâmetro médio do caule em função das concentrações de CO₂ para cada volume de água aplicado. Esalq/USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, 2000

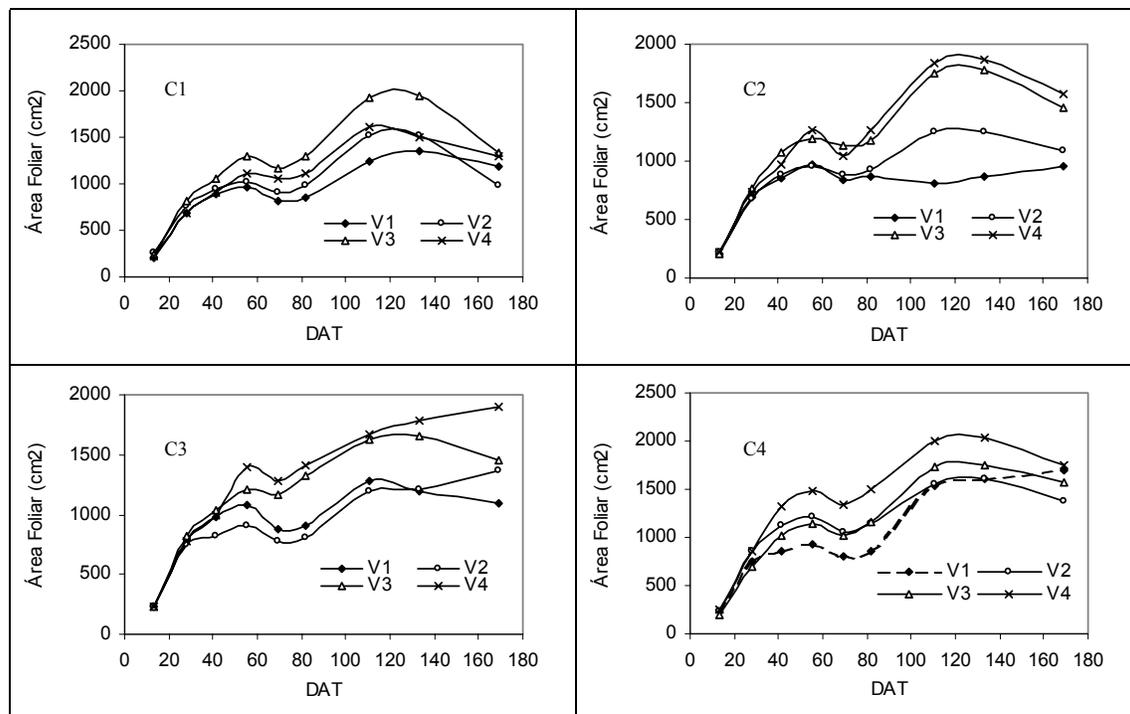


Figura 5. Área foliar média das plantas em função dos volumes de água aplicados para cada concentração de CO₂ Esalq/USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, 2000

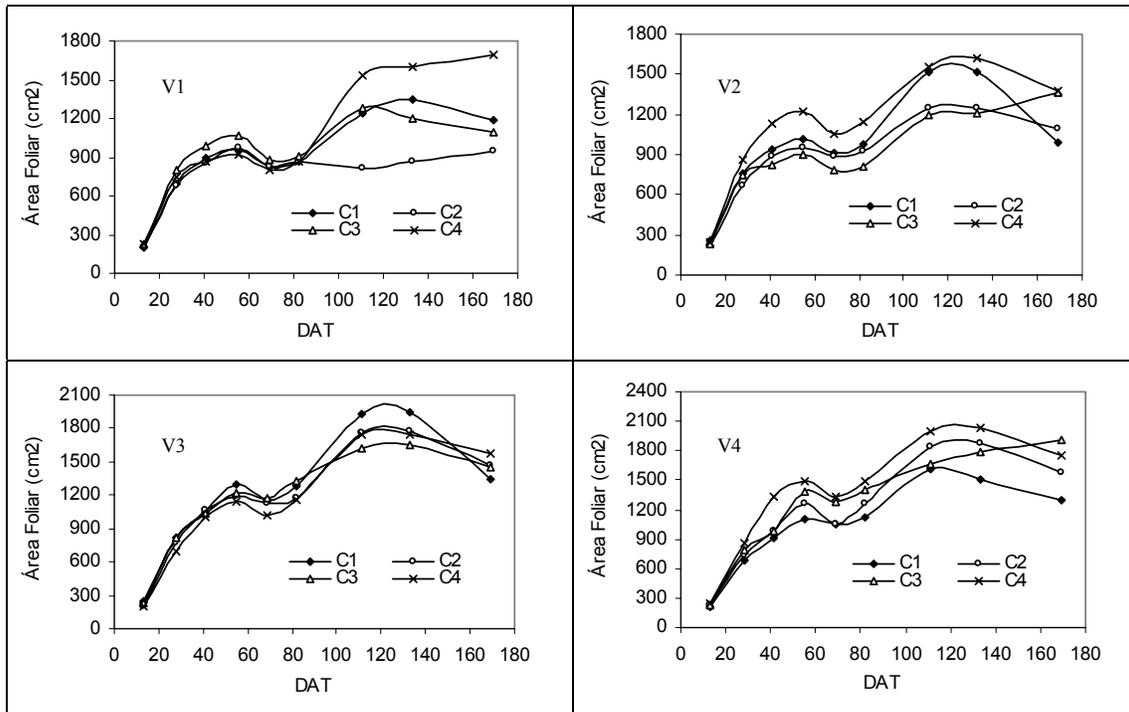


Figura 6. Área foliar média em função das concentrações de CO₂ para cada volume de água aplicado. Esalq/USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, 2000

Verifica-se também na Figura 6 que para todos os ambientes a área foliar reduziu-se nas duas últimas avaliações. Isso se deve, provavelmente, ao efeito de altas temperaturas que causaram a senescência das folhas, bem como a erros devido à alteração na metodologia. Na avaliação realizada aos 169 DAT a área foliar foi determinada utilizando o medidor de área foliar LI-3100 e nas avaliações anteriores foi calculada a área através da largura e comprimento da folha e corrigida pelo fator de 0,5979. A redução observada entre 55 e 69 DAT deve-se à coleta de folhas para análise foliar de nutrientes, uma vez que todas as plantas apresentavam sinais de redução da taxa de crescimento. Como pode ser observado, até 82 DAT, a área foliar das plantas irrigadas com volume de água V1 não apresentou diferenças significativas em função das concentrações de CO₂, a partir dessa época, as plantas do ambiente sem enriquecimento com CO₂ apresentaram área foliar maior do que nos ambientes com enriquecimento de CO₂, sendo que na última avaliação as diferenças em relação aos demais ambientes foram da ordem de 42,64% no ambiente C1, 78,35% no ambiente C2 e 55,55% no ambiente C3. Nos tratamentos com enriquecimento de CO₂, a área foliar tendeu a ser maior naquele com maior concentração, sendo que para o maior volume de água aplicado esta tendência

não se confirmou, o que pode ser justificado pela alta umidade do solo.

A análise de regressão, aplicada aos dados de área foliar média da última avaliação (Tabela 1), mostrou que o modelo com termo quadrático para volume de água e linear para concentração de CO₂ apresentou melhor ajuste e explica 65,27% das variações totais, sendo expressa por:

$$AF = 1500,15 - 0,6381C + 2,9997V + 0,0522V^2 \quad R^2 = 0,6527$$

em que AF é a área foliar em cm², C é a concentração de CO₂ em μmol.mol⁻¹ e V é o volume de água aplicado em litros. Os coeficientes do modelo referentes à constante e à concentração de CO₂ foram significativos a 1% de probabilidade, porém, o coeficiente da variável água não foi significativo.

Como se pode verificar pelos dados, a área foliar tende a aumentar com o aumento do volume de água aplicado ao longo do ciclo da cultura. De acordo com Peñuelas *et al.* (1995), as plantas maximizam a área foliar quando o fornecimento de água e nutrientes são abundantes e minimizam quando esses recursos são limitados. Beese *et al.* (1982), trabalhando com pimentão irrigado, adotando-se 4 lâminas de irrigação, verificaram que os tratamentos de água influenciaram o desenvolvimento da área foliar desde o estágio inicial de desenvolvimento, sendo maior no tratamento que recebeu maior lâmina. Em relação ao

efeito do CO₂, em que a área foliar se reduziu nos ambientes com enriquecimento de CO₂, resultado semelhante foi obtido por Peñuelas *et al.* (1995), para a cultura de pimentão, em ambiente com concentração de CO₂ de 700(μmol.mol⁻¹). Os autores sugerem que em condições de alta concentração de CO₂ o armazenamento de fotossintatos por unidade de área foliar é maior.

Ziska e Teramura (1992), trabalhando com arroz, verificaram que a área foliar reduziu com alta concentração de CO₂, e Yelle *et al.* (1990) e Körner e Arnone (1992), não observaram mudanças significativas. Entretanto, Morrison e Gifford (1984b), trabalhando com 16 espécies agrícolas e hortícolas, verificaram que em 14 espécies a área foliar aumentou com o enriquecimento do ambiente com CO₂. Segundo os autores, não há consenso sobre os efeitos quantitativos do aumento da concentração de gás carbônico no desenvolvimento das plantas devido às diferenças entre as espécies e, também, porque o efeito de fatores ambientais pode limitar a resposta da planta.

Tem sido demonstrado que o aumento da concentração de CO₂ promove efeito positivo no crescimento da planta, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento (Tolley e Strain, 1985; Retuerto e Woodward, 2001), indicando que as plantas quando jovens são mais susceptíveis ao enriquecimento do ambiente com CO₂. O aumento significativo no crescimento da planta na fase inicial de desenvolvimento, em resposta ao enriquecimento do ambiente com CO₂ reduz ao longo do tempo (Bazzaz, 1990) e ainda não está bem definido quais são os fatores que causam estas respostas. Neste trabalho o efeito do CO₂ no crescimento da planta não foi evidenciado principalmente nos tratamentos em que a água não foi fator limitante (V3 e V4). Em geral, nos trabalhos realizados com aplicação de gás carbônico o enriquecimento do ambiente é mantido durante todo o dia (período de luz) e neste trabalho não foi possível manter a concentração de gás por um período maior. Durante a aplicação do CO₂ a casa de vegetação deve estar hermeticamente fechada e, nesta condição a temperatura do ar entre 9 e 10 horas da manhã atingia valores superiores a 40°C. Os efeitos positivos do enriquecimento do ambiente com CO₂ no crescimento da planta não foi significativamente evidenciado devido provavelmente à duração do tempo de aplicação (uma hora por dia).

Referências

ANDRIOLO, J.L. *Fluxo de carbono da planta*. Fisiologia das culturas protegidas. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999. cap.1, p.13-46.

BARON, J.J.; GORSKI, S. F. Response of eggplant to a root environment enriched with CO₂. *HortScience*, Alexandria, v. 21, n.3, p.495-498, 1986.

BAZZAZ, F.A The response of natural ecosystems to the rising global CO₂ levels. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, Palo Alto, v.21, n.3, p.167-196, 1990.

BEESE, F. *et al.* Growth and yield response of chile pepper to trickle irrigation. *Agron. J.*, Madison, v.74, n.3, p.556-561, 1982.

BRAVDO, B. A. Effect of CO₂ enrichment on photosynthesis of C₃ plants. In: ENOCH, H. Z.; KIMBALL, B. A. (Ed.). *Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops*. Boca Raton: CRC Press, 1986. v.2: Physiology, yield and economics, cap. 2, p. 13-72.

CAPORN, S. J. M. The effects of acides of nitrogen and carbon dioxide enrichment on photosynthesis and growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) *New Phytol.*, Cambridge, v.111, n.3, p. 473-481, 1989.

KEELING, C. D.; WHORF, T. P. *Atmospheric CO₂ concentrations (ppmv) derives from in situ air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii*. 1999. Disponível em <http://www.cdiac.esd.ornl.gov/ndps/nd001.html>. Acesso em: maio, 1999.

KÖRNER, C.; ARNONE III, J. A. Response to elevated carbon dioxide in artificial tropical ecosystems. *Science*, Washington, DC., v.257, n.5077, p.1672-1675, 1992.

MORRISON, J. I. L.; GIFFORD, R. M. Plant growth and water use with limited water supply in high CO₂ concentrations. I. Leaf area, water use and transpiration. *Austr. J. Plant Physiol.*, Collingwood, v.11, n.5, p.361-374, 1984b.

MORRISON, J. I. L.; GIFFORD, R. M. Plant growth and water use with limited water supply in high CO₂ concentrations. II. Plant dry weight, partitioning and water use. *Austr. J. Plant Physiol.*, Collingwood, v.11, n.5, p.375-384, 1984b.

MORTENSEN, L. M. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. *Crop Response. Sci. Hortic.*, Amsterdam, v.33, n.1/2, p. 1-25, 1987.

PEÑUELAS, J. *et al.* Growth, biomass allocation, and phenology response of pepper to elevated CO₂ concentrations and different water and nitrogen supply. *Photosynthetica*, Prague, v. 31, n.1, p.91-99, 1995.

PIMENTEL, C. *Metabolismo de carbono na agricultura tropical*. Seropédica: Edur. 1998.

RETUERTO, R.; WOODWARD, F.I. The influences of CO₂ and water supply on growth, biomass allocation and water use efficiency of *sinapis alba* L. grown under different wind speeds. *Oecologia*, Berlim, v.94, n.3, p.415-427, 2001.

SCHAFFER, B. *et al.* Atmospheric CO₂ enrichment, root restriction, photosynthesis, and dry-matter partitioning in subtropical and tropical fruits crops. *HortScience*, Alexandria, v.34, n.6, p.1033-1037, 1999.

SENTELHAS, P. C. *Estimativa diária de evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática*. 1998. Tese(Doutorado) – Escola Superior de

Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

TIVELLI, S. W. A cultura de pimentão. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (Org.). *Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais*. São Paulo. Fundação Editora Unesp, 1998. cap. 8, p. 225-256.

TOLLEY, L.C.; STRAIN, B.R. Effects of CO₂ enrichment and water stress on gas exchange of *Liquidambar styraciflua* and *Pinus taeda* seedlings grown under different irradiance levels. *Oecologia*, Berlin, v.65, n.2, p.166-172, 1985.

YELLE JR., S. et al. Duration of CO₂ enrichment influences growth, yield, and gas exchange of to tomato species. *The J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, Alexandria, v.115, n.1, p.52-57, 1990.

ZISKA, L. H.; TERAMURA, A. H. Intraspecific variation in the response of rice (*oriza sativa*) to increased CO₂ – photosynthesis, biomass and reproductive characteristics. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, v.84, n.2, p.269-276, 1992.

Received on March 13, 2002.

Accepted on August 01, 2002.