

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**TEOR DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE EM HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO EM FUNÇÃO DE DOSES DE CO₂ APLICADAS VIA
ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

ARY GERTES CARNEIRO JÚNIOR

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia – Área
de Concentração em Horticultura

BOTUCATU – SP
Novembro - 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**TEOR DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE EM HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO EM FUNÇÃO DE DOSES DE CO₂ APLICADAS VIA
ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

ARY GERTES CARNEIRO JÚNIOR

Orientador: Prof^a. Dr^a. Romy Goto

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia – Área
de Concentração em Horticultura

BOTUCATU – SP
Novembro – 2004

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C289t Carneiro Júnior, Ary Gertes, 1967-
Teor de nutrientes e produtividade em híbridos de
tomateiro em função de doses de CO₂ aplicadas via água de
irrigação / Ary Gertes Carneiro Júnior. -- Botucatu,
[s.n.], 2004.
vii, 78 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -- Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas.
Orientador: Romy Goto.
Inclui bibliografia.

1. Dióxido de carbono. 2. Estufa (Plantas).
3. *Lycopersicon esculentum* Mill. 4. Plantas - Nutrição.
5. Irrigação agrícola. I. Goto, Romy. II.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.
III. Título.

CDD 631.51

Palavras-chave: Tomateiro; Ambiente protegido.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

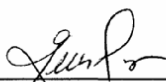
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

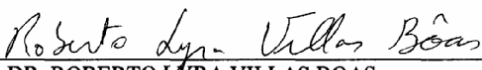
TÍTULO: "TEOR DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE EM HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO, EM FUNÇÃO DE DOSES DE CO_2 , VIA ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO"

ALUNO: ARY GERTES CARNEIRO JUNIOR

ORIENTADOR: PROFA. DRA. RUMY GOTO

Aprovado pela Comissão Examinadora:


PROFA. DRA. RUMY GOTO


PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS


PROF. DR. VANDEIR FRANCISCO GUIMARAES


PROF. DR. SHIZUO SENO


PROFA. DRA. TAMARA MARIA GOMES

Data da Realização: 20 de dezembro de 2004.

Ofereço

Com amor, a minha esposa, Renata Del Carratore Carneiro, pelo carinho e pela valiosa ajuda durante todo o curso.

Dedico

Aos meus pais, Ary e Lenita Carneiro e
às minhas irmãs Cristina e Adriana,
pela confiança, carinho, amor e estímulo
que sempre depositaram em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pela coragem de lutar pelos meus objetivos.

Ao programa de pós-graduação em Produção Vegetal/Horticultura da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP-Botucatu pela oportunidade de realização deste trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Romy Goto, que com dedicação e muita paciência sempre me auxiliou na execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlo Rossi Del Carratore (UNIMAR), pela valiosa ajuda na conclusão do trabalho.

A todos os Professores do Departamento de Horticultura da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP – Botucatu, pelo apoio amigo durante estes anos.

Aos funcionários do Departamento de Horticultura pela convivência e prestação de serviços.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção de São Manuel/UNESP - Botucatu – em especial aos técnicos agrícolas Geraldo e Josué - pela amizade e colaboração.

Aos Pós-Graduandos e amigos Luiz Felipe Villani Purquério, Roberto Botelho Ferraz Branco e Vandeir Francisco Guimarães por todo o apoio e pela ajuda nas coletas.

A todos os amigos do Departamento de Horticultura, pelos bons momentos que passamos juntos.

Ao profissional Eng. Agrônomo Antônio Ribeiro da Cunha, pela instalação do Datalogger e pela ajuda preciosa.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os que contribuíram, direta e indiretamente para a realização e conclusão deste trabalho, o meu mais sincero agradecimento.

SUMÁRIO

Página	
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Cultura do tomateiro.....	7
2.2 - Concentração de CO ₂ na atmosfera	9
2.2.1 Enriquecimento da Atmosfera com Dióxido de Carbono (CO ₂)	10
2.2.2 Enriquecimento da rizosfera com CO ₂ , via água de irrigação.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Aspectos gerais do local de instalação do experimento.....	17
3.2 Preparo das mudas e transplante.....	17
3.3 Instalação do experimento.....	18
3.4 Condução da cultura.....	19
3.5 Adubação.....	19
3.6 Irrigação.....	20
3.7	21
CO ₂	
3.8 Medidas de temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental.....	21
3.9 Teores médios de nutrientes no solo durante o período experimental.....	22
3.10 Delineamento estatístico.....	23
3.11	24
determinadas.....	
3.11.1	De 24

crescimento.....	
3.11.2 Medidas de trocas gasosas.....	25
3.11.3 Determinações do pH na água de irrigação.....	25
3.11.4 Determinações do pH e da condutividade elétrica (CE) do solo.....	26
3.11.5 Teores de nutrientes nos tecidos das plantas.....	26
3.11.6 Componentes de produção	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Parâmetros de crescimento	28
4.2 Medidas de trocas gasosas.....	33
4.3 Determinação de pH na água de irrigação.....	34
4.4 Determinação de pH e condutividade elétrica da solução do solo.....	34
4.5 Teores de nutrientes.....	35
4.5.1 Teores de nutrientes aos 42 DAT (fase de desenvolvimento vegetativo).....	36
.	
4.5.2 Teores de nutrientes aos 63 DAT (fase de início do florescimento).....	42
4.5.3 Teores de nutrientes aos 84 DAT (fase de início da frutificação).....	45
4.5.4 Teores de nutrientes aos 105 DAT (fase de plena frutificação).....	50
4.5.5 Teores de nutrientes aos 126 DAT (fase final de frutificação).....	57
4.6 Componentes de produção.....	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
6 CONCLUSÕES.....	69
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

TEOR DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE EM HÍBRIDOS DE TOMATEIRO EM FUNÇÃO DE DOSES DE CO₂ APLICADAS VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Autor: ARY GERTES CARNEIRO JÚNIOR

Orientadora: Prof^a. Dr^a. RUMY GOTO

RESUMO

O aumento do cultivo em ambiente protegido no Brasil tem despertado interesse de pesquisadores para estudos com enriquecimento de CO₂ e de agricultores na adoção desta nova tecnologia, buscando ganhos de produtividade e qualidade, com conseqüente aumento nos lucros. Estudos relacionando enriquecimento de CO₂ com aumento e melhor qualidade da produção ainda são escassos. Neste contexto, este trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de doses de CO₂, via água de irrigação, na produtividade e no teor de nutrientes em dois híbridos de tomateiro. O experimento foi implantado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção de São Manuel (FEPP) município de São Manuel-SP, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP/Campus de Botucatu. Utilizou-se o delineamento estatístico inteiramente casualizado com dois híbridos de tomateiro de crescimento indeterminado, Andrea e Débora Plus (Sakata Sudamérica), e quatro doses de CO₂ (0, 3,5, 6,5 e 13,0 L min⁻¹). As mudas foram produzidas em bandejas de 128 células. Quando apresentaram de quatro a cinco folhas definitivas, foram transplantadas para o local definitivo. Utilizou-se, para condução do experimento, um ambiente protegido de estrutura metálica tipo arco, com pé direito de 3,8 m, nas dimensões de 14 x 50 m (700m²). Os híbridos foram transplantados no espaçamento de 1,15 x 0,40 m e conduzidos com haste única, sendo tutorados por um fitilho plástico. Foi realizada poda apical na terceira folha após o sétimo racemo e permitido o desenvolvimento de todos os frutos dos cachos. A aplicação de CO₂ foi feita via água de irrigação através da linha de gotejo, utilizando-se para isso um sistema composto por cilindro de dióxido de carbono líquido sob pressão, válvula reguladora de pressão com manômetro,

fluxômetro e injetor Venturi específico para gás. Foram realizadas aplicações diárias de dez minutos, sempre no período das 10:00 às 10:30 horas. A aplicação de água carbonatada não alterou a taxa assimilatória de CO₂ em nenhuma dose testada. Os valores de pH da solução do solo sofreram redução com a aplicação da água carbonatada. O enriquecimento da água com CO₂ produziu um efeito quadrático na produção total, produção comercial e no número de frutos comerciais, sendo que a melhor dose, estimada por regressão polinomial, foi de aproximadamente 7,30 L min⁻¹. Os teores nutricionais dos híbridos testados foram alterados devido à aplicação de água carbonatada, principalmente a absorção do íon potássio. Estas alterações devem-se, provavelmente, às alterações no pH do solo, entre outros fatores.

Palavras-chave: água carbonatada, ambiente protegido, fertirrigação e *Lycopersicon esculentum* Mill.

NUTRIENT CONTENT AND PRODUCTIVITY IN TOMATO HYBRIDS UNDER CO₂ DOSES APPLICATED THROUGH IRRIGATION WATER

Author: ARY GERTES CARNEIRO JÚNIOR

Adviser: Prof^a. Dr^a. RUMY GOTO

Abstract

In Brazil, the cultivation increase in protected environment are waking up the researchers and grower interests to adopt the use of CO₂ enrichment technology, to improve production and quality, increasing their benefits. Researches between CO₂ enrichment and production quality improvement are few. In that way, this work had the objective of evaluate the effects of CO₂ enrichment by irrigation water in the productivity and nutrient content of two tomato hybrids. The experiment was realized in the São Manuel Farm, São Manuel municipal district, São Paulo State, of Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP/Campus of Botucatu. The experimental design used was randomized plots replicated four times, with two tomato hybrids, Andrea and Débora Plus from Sakata Seeds South America and four CO₂ doses (0, 3,5, 6,5 e 13,0 L min⁻¹). The cuttings were produced in 128 cells tray. When showed four or five definitive leafs, were transplanted to definitive place. Used a protected environment with metal structure in arch, with 3.8 m height and 14 x 50 m (700 m²). The hybrids were spaced of 1,15 x 0,40 m and lead in one stem in a plastic strip. Realized apical pruning in the third leaf after the seventh raceme and permitted the development at all fruits. The CO₂ application was made by water trough a dripper net, using cylinder with liquid carbon dioxide, valve with gauge-pressure, gauge-flux and Venturi injector. The CO₂ application was made spending 10 minutes, once per day always at 10:00 to 10:30. The application of carbonated water didn't modify the CO₂ uptake rate in none tested dose. The pH value of soil solution decreased with application of carbonated water. The enrichment of water with CO₂ keeping a quadratic effect in total and commercial production and in the commercial fruit number, being the best dose estimated by polynomial regression 7,30 L min⁻¹. The application of carbonated water favors

the nutrient uptake, specially the potassium, probably by alterations in the soil pH, among other factors.

Keywords: carbonated water, protected environment, drip irrigation, *Lycopersicon esculentum* Mill.

1 INTRODUÇÃO

Dentre várias hortaliças cultivadas e consumidas no Brasil, o tomateiro ocupa importante espaço. A produção nacional de tomate gira em torno de 3,5 milhões de toneladas em uma área de 62 mil hectares. O estado de São Paulo se apresenta como grande centro produtor e consumidor de hortaliças, respondendo por 22% da produção nacional de tomate. Esta hortaliça ocupa o terceiro lugar quanto ao volume de produção mundial (Anuário da Agricultura Brasileira, 2003).

A produção de tomate e outras hortaliças em ambiente protegido é uma atividade relativamente nova no Brasil, mas encontra-se em franca expansão, sobretudo, nos estados do Sudeste e Sul, embora a disponibilidade de cultivares especialmente adaptados a plasticultura seja ainda limitada. O tomate, ao lado do pimentão, é a espécie que tem mostrado crescimento mais consistente e uma das alternativas mais rentáveis do setor (Anuário da Agricultura Brasileira, 1997).

O aumento gradativo da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera terrestre, ao longo dos anos (Gammon et al., 1985) devido à utilização de combustíveis fósseis, manufatura de cimento, desflorestamento e cultivo do solo, juntamente com a adoção do cultivo em ambiente protegido no Brasil nos últimos anos, tem despertado o interesse de pesquisadores para estudos com enriquecimento de CO₂, bem como o interesse dos agricultores pela adoção desta nova tecnologia.

Cerca de 40 % da matéria seca das plantas é composta por carbono. A planta obtém este carbono do gás dióxido de carbono presente na atmosfera. A maior parte do CO_2 penetra nas plantas, por difusão, através dos estômatos presentes nas folhas, quando estes se encontram abertos. O dióxido de carbono atinge os cloroplastos, sob a forma de dióxido de carbono dissolvido, e com presença de energia advinda da luz solar, é utilizado para formação de carboidratos (açúcares). Estes carboidratos são translocados para várias partes da planta e transformados em outros compostos necessários para o desenvolvimento e manutenção dos vegetais. Nas plantas terrestres, em condições normais, a atmosfera é a fonte mais importante de dióxido de carbono.

Resultados experimentais atuais indicam que a concentração de CO_2 média na atmosfera não atinge a zona de saturação da relação fotossíntese/concentração de CO_2 intercelular, o que explica a resposta positiva de maior assimilação e produção, que vem sendo obtida em vários estudos de enriquecimento com CO_2 em plantas C3 (Bowes, 1993).

Em síntese, o teor de gás carbônico presente no ambiente de cultivo é um fator influente na produção vegetal, refletindo na produtividade e qualidade dos frutos. No entanto as condições climáticas do Estado de São Paulo e da quase totalidade do território nacional, não permitem que se utilizem ambientes de cultivo totalmente vedados para cultivo de espécies oleráceas, o que inviabiliza o enriquecimento da atmosfera com CO_2 . Porém, o enriquecimento via fertirrigação, conhecido como fornecimento de água carbonatada' poderia ser amplamente estudado.

Tendo em vista a importância da cultura do tomateiro no cenário econômico da olericultura brasileira e o crescente investimento de produtores em cultivo protegido nos últimos anos, buscando melhores condições e qualidade na produção, torna-se necessário o constante aprimoramento de técnicas de produção em cultivo protegido, bem como a compreensão das variáveis que afetam a produção nestas condições. Neste contexto, o enriquecimento da água com CO_2 , apresenta-se como uma variável a ser estudada.

Assim este trabalho teve por objetivo investigar a possível influência da aplicação de diferentes doses de CO_2 , via água de irrigação, na produtividade e nos teores de nutrientes em híbridos de tomateiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do tomateiro

A produção brasileira de tomate cresceu entre os anos de 1992 e 2001, cerca de 42%. Na última década, a distribuição da produção ainda apresentou modificações significativas, principalmente no tocante aos principais Estados produtores. No final de 1999, o estado de Goiás assumiu a liderança da produção nacional, superando São Paulo, que até então ostentava a primeira posição (Cançado Júnior et al., 2003).

O tomateiro tem como centro de origem a região andina, desde o Equador, passando pela Colômbia, Peru, Bolívia, até o norte do Chile. Nessa área, crescem espontaneamente diversas espécies do gênero *Lycopersicon*. Quando à sua domesticação, parece não haver dúvida de que ocorreu no México. O tomate já estava integrado à cultura asteca, na época da chegada dos espanhóis à América, sendo cultivado e consumido em ampla variedade de formas; era conhecido como “tomatl”, da língua natural do México naquela época, dando origem ao nome tomate (Alvarenga, 2004).

A espécie cultivada é botanicamente denominada de *Lycopersicon esculentum*. O tomateiro cultivado é uma solanácea herbácea, sendo o seu caule flexível incapaz de suportar o peso da planta e dos frutos, em posição vertical, como ocorre com outras solanáceas-fruto, de caule lenhoso (Filgueira, 1982).

O tomateiro apresenta basicamente dois hábitos de crescimento distintos; a distinção dos hábitos de crescimento está na posição dos ramos florais e na constituição das unidades de fonte e dreno: Crescimento indeterminado – o caule ou ramo principal cresce mais que as ramificações laterais, apresentando dominância apical. A cada três folhas lançadas, há a emissão de um ramo floral, constituindo as unidades de fonte e dreno. Os fotoassimilados proporcionados pelas folhas abaixo do primeiro ramo floral são dirigidos principalmente para as raízes e as três folhas acima de cada ramo floral dirigem os fotoassimilados para os frutos abaixo. Crescimento determinado – o hábito de crescimento determinado é caracterizado pela ausência de dominância apical. Não existe necessariamente uma unidade fonte e com a mesma disposição observada para o crescimento indeterminado. A principal característica é que cada haste ou ramificação apresenta um ramo floral apical, o qual limita o seu desenvolvimento vegetativo (Alvarenga, 2004).

O tomateiro, de crescimento indeterminado, é uma planta muito complexa, pois em grande parte do período de desenvolvimento ocorrem simultaneamente o crescimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo, com frutificação, em média, de doze níveis de cachos. Na fase imediatamente anterior à maturação dos frutos do primeiro e do segundo cacho, devido provavelmente à grande demanda de nutrientes minerais e carboidratos para o crescimento dos frutos, a parte vegetativa normalmente paralisa o crescimento momentaneamente, e pode-se considerar que esta fase é a de maior exigência de água, nutrientes e condições ambientais adequadas, tais como temperatura e luminosidade (Takahashi, 1993).

Os teores de nutrientes no tomateiro variam com o desenvolvimento da cultura. A marcha de absorção de nutrientes, durante o crescimento, mostra essa situação (Minami & Haag, 1989), sendo esse conhecimento importante para decisões sobre a aplicação racional de fertilizantes (Haag et al., 1978).

Fayad (1998) em experimento realizado em ambiente protegido obteve em ordem decrescente de acúmulo de nutrientes na parte aérea do tomateiro: K, N, Ca, S, Mg, P, Mn, Fe, Cu e Zn, alcançando os valores de 264; 211; 195; 49; 40; 30; 3,2; 2,1; 1,6 e 0,7 kg ha⁻¹, respectivamente.

Costa (1999) analisando os teores de nutrientes em tomateiro híbrido Momotaro, cultivado em sistema hidropônico, obteve concentrações médias de N, P, K, Ca, Mg e S de

46,2; 7,52; 68,2; 15,0; 9,90; e 10,3 g kg⁻¹ de matéria seca e concentrações médias de B, Cu, Fé, Mn e Zn de 67,8; 15,8; 141; 117 e 28,4 g kg⁻¹ de matéria seca respectivamente.

De acordo com Whitney et al. (1985) a concentração do nutriente nos tecidos da planta, num determinado estágio, corresponde ao valor integral de todos os fatores que influenciam na concentração do elemento, no momento da coleta do material. Fatores como idade dos tecidos, diferentes genótipos e a interação entre nutrientes e o meio ambiente, segundo Smith (1986), interferem na concentração dos nutrientes.

2.2 Concentração de CO₂

A atmosfera é constituída essencialmente por dois gases – o nitrogênio (cerca de 78%) e o oxigênio (cerca de 21%). Contém também uma quantidade variável de vapor de água e outros gases, sendo um destes o dióxido de carbono. Este gás, que constitui em média apenas 0,03% em volume (330 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), desempenha um papel da maior importância no mundo biológico.

O carbono é um elemento altamente disseminado no planeta Terra, encontrando-se distribuído no núcleo, manta, crosta, hidrosfera e biosfera. A manta e a crosta terrestre, por exemplo, estão continuamente liberando CO₂ para o mar e atmosfera a uma taxa de $0,05 \times 10^{15}$ g C ano⁻¹. Estas quantidades liberadas são facilmente absorvidas pelos oceanos de modo que não chegam a afetar o nível original do gás na atmosfera (Rebello, 1986).

A utilização de combustíveis fósseis (gás natural, petróleo e carvão), a manufatura de cimento e a modificação da biosfera terrestre (desflorestamento) são algumas das atividades humanas que, segundo Rebello (1986), podem gerar incrementos na concentração do CO₂ atmosférico. A concentração de CO₂ atmosférico tem sofrido significativa alteração nos últimos 150 anos, sendo de 250 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar antes da revolução industrial (ao redor de 1860) e de 356 – 360 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ atualmente (Wittwer, 1992; Bowes, 1993). Com base nos valores médios, pode-se calcular um acréscimo de 23% na concentração de CO₂, dos quais 8% ocorreram somente nos últimos 26 anos.

A atual relação CO₂/O₂ atmosférica, desde que não ocorram outros fatores limitantes à fotossíntese, reduz de 60-70% o potencial fotossintético da maior parte dos vegetais (Bowes,

1993). Isto se deve à Rubisco (ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase), enzima que catalisa a redução do CO_2 no cloroplasto das células do mesofilo de plantas C_3 e no cloroplasto de células da bainha de plantas C_4 , requerer maior concentração de substrato (CO_2) que o disponível atualmente na atmosfera para otimizar a fotossíntese (Bravdo, 1986). Como a Rubisco é passível de reação de preferência pelo O_2 (Rudpoxi), que leva ao aumento da fotorrespiração, principalmente em plantas C_3 , um dos caminhos seria a inibição da ação oxigenase da Rubisco. Atualmente, fora à genética, o enriquecimento de CO_2 no ambiente, apresenta-se como uma das soluções para alcançarmos melhora na produtividade.

Num ambiente protegido, onde a circulação de ar é sensivelmente menor, o teor de CO_2 do ar pode diminuir substancialmente no decorrer do dia, o que pode explicar a resposta positiva de maior assimilação e produção que vem sendo obtida na maior parte dos estudos de enriquecimento de CO_2 em plantas sob cultivo protegido.

2.2.1 Enriquecimento da atmosfera com dióxido de carbono (CO_2)

Com a intenção de aumentar a eficiência fotossintética das plantas e conseqüentemente a produção, tem sido utilizado enriquecimento do ambiente de cultivo com CO_2 , principalmente em ambiente protegido. O enriquecimento da atmosfera da estufa com dióxido de carbono promove redução na fotorrespiração e aumento da fotossíntese, resultando em maior desenvolvimento das plantas (Nilsen, 1983; Letard, 1996).

Heij & Uffelen (1984) demonstraram que a concentração de CO_2 no interior de ambiente protegido se mantém abaixo da concentração de CO_2 fora do mesmo, e obtiveram aumento de 18% na produção de pepino com a concentração de CO_2 a $340 \mu\text{mol mol}^{-1}$ em relação à produção com concentração de $200 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Alguns autores recomendam, no mínimo, manter a concentração de CO_2 dentro do ambiente protegido ao nível exterior, evitando quedas na produção (Slack & Hand, 1985; Nederhoff, 1988).

Uma das hipóteses apontadas para explicar o fenômeno considera que a maior concentração desse gás aumenta a eficiência das reações enzimáticas e ao mesmo tempo diminui a fotorrespiração da planta. É importante ressaltar que o efeito sobre a fotossíntese

vem acompanhado de efeitos secundários, como redução na transpiração, com conseqüente aumento na eficiência no uso de água e aumento da absorção mineral, especialmente o nitrogênio. Devido a essas interações, o enriquecimento em CO₂ exige manejo integrado da cultura, principalmente no tocante ao fornecimento de água e nutrientes (Andriolo, 1999).

Em revisão, Drake et al. (1997) concluem que aumentos na assimilação de carbono por unidade de água perdida, por unidade de nitrogênio ou por unidade de radiação luminosa absorvida foram verificados em plantas expostas a ambiente com elevada concentração de CO₂.

Nederhoff & Schapendonck (1985) ao compararem a produção de pepino em ambiente protegido e enriquecido com CO₂, nas concentrações de 600 e 950 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar, obtiveram aumentos de 37 a 45%, respectivamente, na produção em relação a tratamentos com concentração de CO₂ atmosférico (330 $\mu\text{mol mol}^{-1}$). Estudos de D'Andria et al. (1990), sobre efeitos da água carbonatada e "mulching" em tomateiro mostraram aumento de 7 t.ha⁻¹ com a utilização do "mulching" e aplicação do gás. Reinert et al. (1997) obtiveram aumento de 24% na produtividade do tomateiro, com tratamentos de até 675 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO₂, em câmaras de ambiente controlado.

Na fase de muda, o enriquecimento com CO₂ atmosférico em tomateiro tem levado a significativos aumentos em área foliar, massa seca da parte aérea e raiz (Madsen, 1973). Na fase de produção o incremento na concentração de CO₂ pode promover aumento no número de frutos, peso fresco e seco de frutos e folhas (Morioka & Hisatomi, 1973; Nilsen, 1983; Letard, 1996). A implementação do uso do CO₂ como variável de produção em cultivo protegido, tem ocorrido simultaneamente ao desenvolvimento de novas técnicas de produção e minuciosa compreensão de outros fatores que controlam o crescimento das plantas, como luz, temperatura, umidade, nutrientes, doenças e pragas (Peet & Willits, 1987; Gijzen & Tem Cate, 1988).

Mortensen (1987) relatou que o enriquecimento com CO₂ aumentou a fotossíntese líquida das plantas, verificando aumento em peso seco, altura das plantas, número de folhas e brotações laterais. Este autor também relatou que o enriquecimento com CO₂ aumentou em torno de 30% a eficiência do uso de água.

2.2.2 Enriquecimento da rizosfera com CO₂, via água de irrigação

Outra forma de fornecimento de CO₂ às plantas tem sido via água de irrigação. A assimilação do CO₂ pode ocorrer tanto nas folhas como nas raízes (Baron & Gorski, 1986; Cramer, 1995; Letard, 1996). Lemon (1983) comenta sobre efeitos do CO₂ interferindo a nível radicular, interrompendo a ação do etileno na maturação, abscisão, senescência e estresse das plantas, restabelecendo o crescimento de raízes e aumentando a resistência das plantas ao déficit hídrico.

A técnica de fornecimento de dióxido de carbono dissolvido na água de irrigação para as culturas iniciou-se a partir da década de 80, com o avanço em tecnologias de irrigação localizada, como é o caso do gotejamento, bem como, pelo desenvolvimento de métodos que permitissem o fornecimento eficiente de água carbonatada às plantas (Durão & Galvão, 1995). Desde então vários estudos vêm sendo feitos em várias culturas, visando aumentos em produtividade pelo fornecimento de CO₂ às plantas, principalmente no que se refere à olericultura e ao cultivo em ambiente protegido.

Experimentos mostram a fixação de carbono inorgânico dissolvido (DIC) nas raízes de culturas como arroz (Ikeda et al., 1992), nódulos de alfafa (Anderson et al., 1987), e tomate (Bialczyk & Lechowski, 1995; Ikeda et al., 1992). O caminho mais provável é a reação do ácido fosfoenolpirúvico (PEP) com HCO₃⁻ catalisada pela enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) levando à formação de ácido oxalacético (OAA), que é prontamente convertido a malato (Miller et al., 1990; Ikeda et al., 1992; Gao & Lips, 1997).

Gao & Lips (1997) afirmam que o carbono inorgânico fixado através da PEPcase em raízes de plantas de tomate, pode fornecer esqueletos carbônicos para a síntese de aminoácidos e acumular, principalmente, malato nas raízes na ausência da demanda de esqueletos de carbono. Este malato acumulado pode ser utilizado em vários processos metabólicos como: respiração (Martinoia & Rentsch, 1994), regulação do pH do citossol (Martinoia & Rentsch, 1994), produção de nicotinamida adenina dinucleotídeo – forma reduzida (NADH) (Neyra & Ragerman, 1976) e regulação da absorção de NO₃⁻ (Ben-Zioni et al., 1971; Touraine et al., 1992).

Estudos com CO_2 marcado mostram que o DIC exógeno pode entrar na raiz como CO_2 ou HCO_3^- . Parece, entretanto, que o CO_2 poderia se difundir através da membrana plasmática mais rapidamente que HCO_3^- , pois o último entraria ativamente (Lucas, 1983).

O fornecimento de CO_2 para as raízes, via água de irrigação ou em cultivo hidropônico, aumenta a incorporação de carbono inorgânico pelas raízes em até dez vezes em plântulas de tomate e também influencia na absorção de NO_3^- (Cramer & Lips, 1995). Segundo Gao & Lips (1997) três fatores podem estar envolvidos na influência do aumento da fixação de carbono inorgânico pelas raízes, em função do enriquecimento com dióxido de carbono, na absorção e assimilação de NO_3^- : (1) o malato pode ser oxidado e transformado em bicarbonato que pode ser trocado por NO_3^- , promovendo absorção de NO_3^- pelas raízes; (2) a oxidação de malato a oxalacetato pode produzir NADH para a redução do NO_3^- ; (3) a fixação de carbono inorgânico pelas raízes pode fornecer esqueletos de carbono para a assimilação de NH_4^+ , resultante da redução de NO_3^- , levando, conseqüentemente, ao aumento na absorção de NO_3^- .

O CO_2 é solúvel em água, com 99% como gás dissolvido e 1% como ácido carbônico. Os componentes de carbono inorgânico em água são CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} (Enoch & Olesen, 1993). A produção de íons de hidrogênio através da reação do dióxido de carbono com água ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \leftrightarrow 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$) interage com alguns minerais do solo, contribuindo para solubilização de minerais e aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Enoch & Olesen, 1993).

Enoch & Olesen (1993) concluíram em revisão que geralmente, em condições naturais, 95 a 99% do CO_2 contido nas plantas derivam da redução pela fotossíntese, sendo este proveniente do ar. O restante é derivado do solo e representa principalmente o CO_2 reassimilado pela planta proveniente da respiração das raízes.

A fixação não autotrófica de dióxido de carbono ou bicarbonato pelas raízes das plantas tem sido estudada desde a década de 50 (Vuorinen et al., 1992). Em experimentos usando ^{14}C , os primeiros metabólitos com ^{14}C encontrado nas raízes foram ácidos orgânicos, principalmente malato. Outros compostos identificados nestes estudos foram: ácido cítrico, isocítrico, ácidos aspártico e glutâmico, serina, asparagina, glutamina e tirosina. (Vuorinen et al., 1992). Existem evidências claras que, carbono adicionado ao sistema radicular, afeta

positivamente a produção de biomassa. Resultados mostram que baixas concentrações de dióxido de carbono (Arteca et al., 1980) e bicarbonato (Vapaavuori & Pelkonen, 1985) adicionados às raízes aumentam a produção de biomassa, porém concentrações acima de 10% claramente inibem o crescimento e causam clorose nas plantas (Andel et al., 1978).

Estudos objetivando elucidar efeitos do enriquecimento de CO₂, via água de irrigação ou atmosférico, na absorção e utilização de nutrientes pelas plantas têm sido freqüentes (Cramer & Lips, 1995; Cramer et al., 1996; Gao & Lips, 1997; Van der Merwe & Cramer, 2000). Van der Merwe & Cramer (2000) trabalhando com plantas de tomate em cultivo hidropônico e enriquecimento com CO₂ na rizosfera, verificaram que elevando a concentração de CO₂ para 5000 ppm houve aumento de 30% na absorção de NO₃⁻ sem, contudo, influenciar na absorção do NH₄⁺. Estes autores sugeriram que o enriquecimento de CO₂ na rizosfera influenciou a absorção de NO₃⁻ devido ao aumento da concentração de HCO₃⁻ no citossol.

A absorção de NO₃⁻ através da membrana plasmática ocorre por simporte com H⁺, o qual experimentalmente é indistinguível da absorção de NO₃⁻ por cotransporte com OH⁻ (McClure et al., 1990).

Cararo (2000) estudando o efeito da aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em tomateiro (híbrido Débora Plus), sob cultivo protegido, concluiu que este tratamento levou a um aumento significativo de 7.6% na produtividade, 11,5% no peso de frutos de tamanho pequeno e 7,8% em matéria seca de frutos. Porém não se verificaram diferenças na precocidade de produção, número de frutos, peso de frutos de tamanho médio e eficiência no uso de água. Neste mesmo contexto, porém trabalhando com o meloeiro, Pinto et al. (2001), constataram que a aplicação de CO₂ via água de irrigação não modificou o ciclo da cultura, mas as maiores produtividades foram obtidas nos tratamentos com aplicação de CO₂. Estes autores também comentam que a aplicação de CO₂ via água de irrigação não alterou a qualidade do fruto e nem os teores de macro e micronutrientes na folhas do melão.

Estudando a cultura do tomate submetida ao enriquecimento de 0,025% de CO₂ em água, Bialczyk et al. (1996) observaram aumentos de 32,6% no peso fresco dos frutos, quando comparado à testemunha.

Machado et al. (1999) procuram apresentar algumas hipóteses que possam fornecer subsídios para explicar o ganho em produtividade oriundo do fornecimento de água

carbonatada às plantas, enumerando a difusão do gás do solo para o ar, a absorção do gás pelas raízes, aumento da absorção, acúmulo e distribuição de nutrientes na planta, bem como a competição do dióxido de carbono com etileno, como sendo as principais.

Novero et al. (1991) relata sobre o efeito da aplicação do CO₂ via água de irrigação aumentando a quantidade de CO₂ no solo, levando assim a uma redução do pH e conseqüentemente a uma maior absorção de fósforo, potássio, magnésio, zinco, ferro, manganês, cobre e boro, sendo este efeito citado como provável causa do aumento em produtividade verificado para cultura do tomate em função do fornecimento de dióxido de carbono. Fatos também observados por Basile et al. (1993), onde a redução momentânea do pH do solo levou ao aumento da disponibilidade da maioria dos nutrientes na solução do solo, se destacando o cálcio e magnésio.

Estudando o efeito do CO₂ aplicado na água de irrigação e no ambiente na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.), Gomes (2001) obteve algumas conclusões, como aumento de até 26 % na produtividade da cultura da alface quando as doses aplicadas na água de irrigação foram de 52 e 155 kg ha⁻¹, aumentos no fluxo de CO₂ no solo em resposta a aumentos na dose de CO₂ aplicada, o que proporcionou reduções de valores de pH no solo e na água de irrigação, além de proporcionar aumento nos teores de potássio na planta, quando comparado à testemunha. Furlan et al. (2001) também estudando o efeito da aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação na cultura da alface em ambiente protegido, relatam aumentos de 27% na produtividade das plantas em função deste tratamento quando comparado às plantas que não receberam o tratamento com CO₂.

Na cultura do pimentão em ambiente protegido a aplicação de CO₂ via água de irrigação, numa dosagem para elevar a concentração atmosférica a 800 µmol mol⁻¹, possibilitou obtenção de maiores comprimento, diâmetro e número de frutos por planta, além da massa e rendimento, na ordem de 12,4%, 11,9%, 21,4%, 20% e 51,3%, respectivamente, em relação ao ambiente sem aplicação de CO₂ (Furlan et al., 2002).

Cardoso (2002) relatou efeito do CO₂ via irrigação na cultura do melão rendilhado em ambiente protegido, proporcionando maior absorção e redistribuição de nutrientes na planta, aumento no número de frutos comerciais, na produtividade e na qualidade dos frutos.

Ao observarem os efeitos da aplicação de água carbonatada, em quatro concentrações diferentes, em alface do tipo americana ('Raider' e 'Lucy Brown'), Carneiro Júnior et al. (2003) verificaram que a aplicação da maior concentração ($6,0 \text{ g L}^{-1}$) proporcionou área foliar superior à testemunha ($10852,60$ e $7124,26 \text{ dm}^2$), não ocorrendo diferença entre as demais concentrações. A massa fresca total também foi influenciada pela aplicação do gás, sendo que com a aplicação de $6,0 \text{ g L}^{-1}$, a massa fresca verificada foi superior à testemunha e ao tratamento com $3,0 \text{ g L}^{-1}$.

O efeito do CO_2 via água de irrigação na emergência de sementes e no crescimento e absorção de nutrientes nas mudas de quatro espécies de citros foi estudado por Stoffella et al. (1995), não encontrando diferença entre os tratamentos com e sem CO_2 , tendo o CO_2 influenciado negativamente na absorção de nutrientes pelas mudas.

Robles (2003), estudando o efeito da aplicação de água carbonatada na cultura da batateira, em Piracicaba-SP, observou que a produtividade total de batata das cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e Monalisa diminuiu com doses crescentes de CO_2 ; a aplicação de CO_2 nas cultivares não alterou significativamente a acidez, entretanto, as cultivares Monalisa e Atlantic perderam firmeza devido ao tratamento com aplicação do gás. O mesmo autor cita que, em outro experimento, a aplicação de CO_2 na água de irrigação não afetou a produtividade da cultivar de batata Itararé, mas proporcionou uma redução nos teores de sólidos solúveis totais.

Enriquecendo a água de irrigação com CO_2 na cultura do pepineiro, Ibrain (1992) encontrou maiores concentrações de P, Zn, Mn e Fe na planta e maior produtividade e qualidade dos frutos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aspectos gerais do local de instalação do experimento

Este experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção de São Manuel (FEPP) município de São Manuel - SP, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP/Campus Botucatu, com coordenadas cartográficas aproximadas de 22⁰ 44' S e 47⁰ 34' W Gr. e altitude média de 750 metros. Segundo Espindola (1973) o clima da região é do tipo mesotérmico, Cwa, ou seja, subtropical úmido com estiagem no período de inverno. O solo do local é um latossolo vermelho com textura arenosa (Embrapa, 1999).

3.2 Preparo das mudas e transplante

As mudas foram formadas em viveiro (ambiente protegido) localizado na própria Fazenda Experimental São Manuel em bandejas de poliestireno expandido de 128 células. A semeadura foi realizada no dia 13 de março de 2003, com uma semente por célula, coberta com uma fina camada de casca de arroz carbonizada. O substrato para as bandejas foi preparado na própria fazenda na proporção de 60 litros de terra de barranco, 60 litros de esterco de gado curtido e peneirado, 30 litros de casca de arroz carbonizada, 400 gramas da fórmula 4-14-8 e 70 gramas de superfosfato simples. Durante a formação das mudas todos os tratos culturais exigidos pela cultura foram realizados, sendo aplicado imidacloprid (Confidor)

na dose de $0,3 \text{ g L}^{-1}$, visando o controle da infestação com tripes e pulgão, prevenindo assim a ocorrência de viroses nas plantas. Realizou-se também pulverização foliar com cloreto de potássio ($0,3 \text{ g L}^{-1}$) aos 15 dias após a semeadura (DAS), ácido fosfórico (1 ml L^{-1}) aos 21 DAS e nitrato de cálcio ($0,5 \text{ g L}^{-1}$) aos 28 DAS. A irrigação das mudas foi feita manualmente, duas vezes por dia, até o momento do transplante.

No dia 15 de abril de 2003, quando as mudas estavam com 33 dias após a semeadura (DAS), aproximadamente com quatro a cinco folhas definitivas, estas foram transplantadas para o local definitivo, iniciando-se assim a condução do experimento.

3.3 Instalação do experimento

Utilizou-se estrutura metálica tipo arco, com pé direito de 3,8 m de altura, nas dimensões de 14,0 m de largura, por 50,0 m de comprimento, coberta com agrofilme de 150μ aditivado e fechada com tela de sombreamento (Foto 1).



Foto 1. Vista geral das instalações para o cultivo em ambiente protegido. São Manuel-SP, 2003.

Leituras de temperatura e umidade relativa do ar no interior do ambiente foram obtidas com a instalação de seis sensores termopar (três para temperatura e três para umidade),

conectados a um sistema de aquisição automática de dados meteorológicos (Micrologger CR23X).

3.4 Condução da cultura

Foram avaliados dois híbridos de tomate para mesa, sendo o ‘Andrea’ do tipo Italiano, longa vida estrutural que apresenta plantas vigorosas de crescimento indeterminado, seus frutos possuem formato alongado, firmes, de polpa espessa e excelente coloração; e o ‘Débora Plus’ do tipo santa cruz, longa vida estrutural, apresentando plantas vigorosas de crescimento indeterminado, possui frutos globulares de coloração vermelha intensa (ambos da empresa Sakata Sudamerica). Optou-se pela utilização destes híbridos por ser o Débora Plus o mais cultivado para mesa e o Andrea um produto que vem ganhando muito espaço no mercado nacional. Estes híbridos foram conduzidos com haste única, sendo tutorados por um fitilho plástico e sustentados por fios de arame colocados no sentido do maior comprimento da estrutura. O espaçamento utilizado foi de 1,15 x 0,40 m, sendo a poda apical realizada na terceira folha após o sétimo racemo. Foi permitido o desenvolvimento de todos os frutos em todos os cachos.

O ciclo dos dois híbridos de tomateiro (Andrea e Débora Plus), cultivados em ambiente protegido, foi de 196 dias. Iniciou-se a colheita de frutos aos 92 dias após os transplante, sendo feitas nove colheitas semanais até o final do ciclo da cultura.

3.5 Adubação

Com base na análise prévia da fertilidade do solo da área experimental (Tabela 1), verificou-se que não haveria necessidade de realizar adubação para o plantio, uma vez que os níveis de nutrientes no solo eram satisfatórios para o desenvolvimento da cultura. Somente o elemento boro encontrava-se com níveis baixos, sendo assim, optando por fornecer este nutriente via fertirrigação, através de aplicações periódicas de ácido bórico (1g L^{-1}) e CaCl_2

6g L^{-1}), visando prevenção de distúrbios nutricionais nos frutos como podridão apical, lóculo aberto e fruto oco, seguindo a recomendação de Villas Bôas, R. L.¹.

¹ Informe pessoal: Prof. Dr. do Departamento de Recursos Naturais – Setor de Ciência do Solo da FCA/UNESP

Tabela 1. Resultados da análise química do solo da área experimental. Botucatu-SP, 2003.

pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+ Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----							
6,6	16	150	0	12	3,6	48	13	65	75	84
B			Cu	Fe			Mn		Zn	
-----			mg dm ⁻³ -----							
0,23			1,2	11			12,9		5,0	

Fonte: Laboratório de análise de solos do Departamento de Recursos Naturais - Setor de Ciência do Solo da FCA/UNESP.

3.6 Irrigação

A irrigação foi realizada através de sistema de gotejamento com um tubo gotejador autocompensante por linha de cultura com espaçamento entre emissores de 0,20 m e vazão de 4 L hora⁻¹ para obter maior uniformidade e volume de solo irrigado para um melhor desenvolvimento do sistema radicular.

O controle da irrigação foi efetuado por tensiometria, instalando-se dois conjuntos de tensiômetros com coluna de mercúrio a 10 e 20 cm de profundidade em cada área experimental. Para a irrigação, procurou-se manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo (10 kPa), procedendo-se de acordo com a metodologia proposta por Reichardt (1987), utilizando curva característica de umidade do solo (Tabela 2).

Tabela 2. Potencial matricial e conteúdo de água no solo na camada de 0-20 cm. FCA-UNESP, Botucatu (SP), 2004.

Potencial Matricial (kPa)	Conteúdo de água no solo (g.g ⁻¹)
10	0,105
30	0,097
50	0,075
100	0,070
500	0,059
1500	0,055

Fonte: Antunes, (2001).

3.7 Aplicação de CO₂

A aplicação de CO₂ foi realizada na água de irrigação através do sistema de gotejo, utilizando-se para isso um sistema composto por cilindro de dióxido de carbono líquido sob pressão, válvula reguladora de pressão com manômetro, fluxômetro e injetor Venturi específico para aplicação de gás em água. O CO₂ foi ministrado diariamente por 10 minutos, sempre no período das 10:00 às 10:30 horas, iniciando aos 10 dias após o transplante.

3.8 Médias de temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental

Na Figura 1 são apresentadas as leituras de temperatura e umidade relativa do ar no interior do ambiente (Figura 1), obtidas pelo sistema de aquisição automática de dados meteorológicos (Micrologger CR23X).

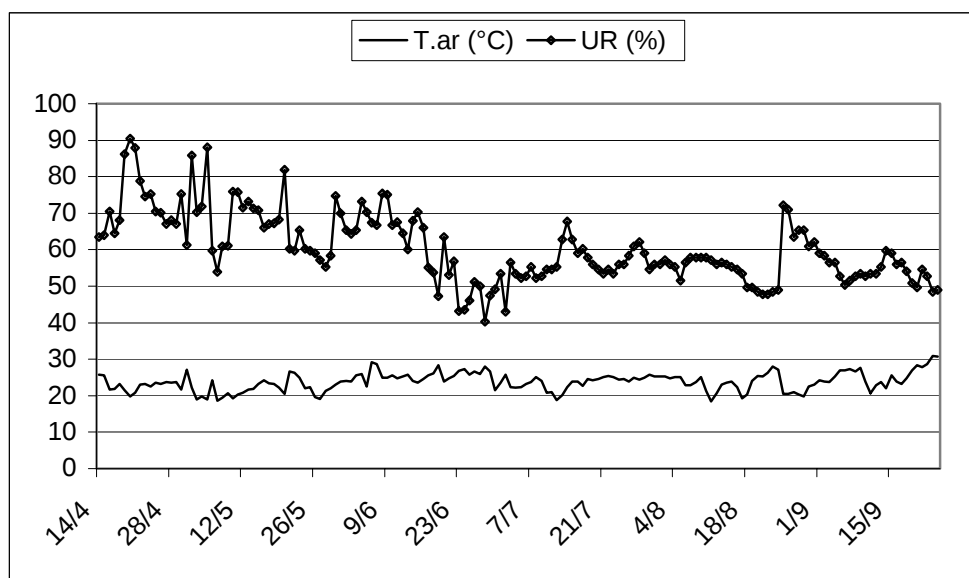


Figura 1. Temperatura média do ar (T. ar °C) e umidade relativa (UR %) no interior do ambiente protegido, durante o período experimental. São Manuel-SP, 2003.

Entre os dias 23 de junho e 3 de julho de 2003, período que correspondeu ao de floração, a umidade relativa do ar ficou, na média, abaixo de 50%, apresentando mínima de 40 % em 28 de junho (Figura 2). Este fator climático provavelmente interferiu na viabilidade dos grãos de pólen das flores dos tomateiros, explicando assim a baixa produtividade obtida no experimento.

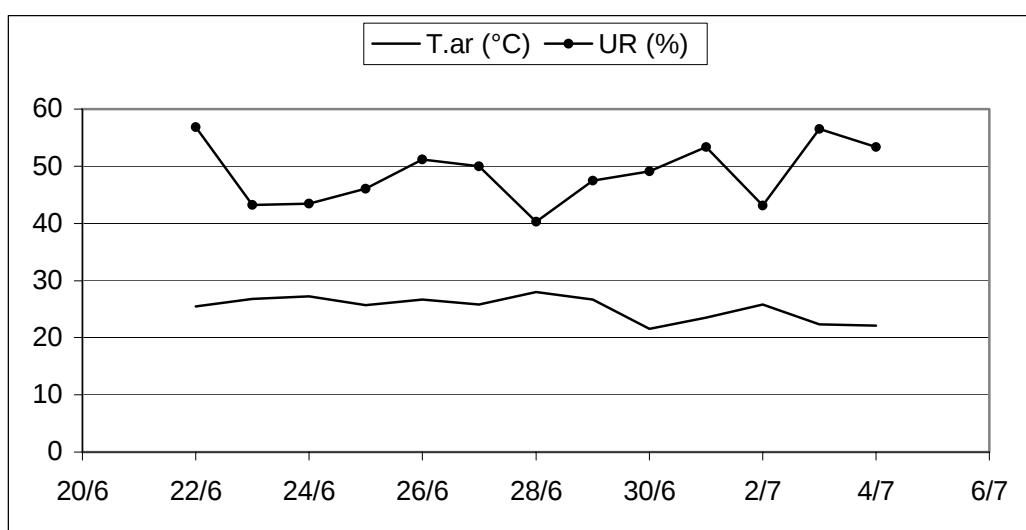


Figura 2. Temperatura média do ar (T. ar °C) e umidade relativa (UR %) no interior do ambiente protegido, durante o período de 23/06 a 03/07/2003. São Manuel-SP, 2003.

3.9 Teores médios dos nutrientes do solo durante o período experimental

Durante a condução do experimento foram coletadas três amostras de solo por tratamento, a uma profundidade de 10 cm, no dia do transplante, aos 55, 91, 119 e 139 DAT. Estas amostras foram enviadas ao laboratório de análise de solo do Setor de Ciência do Solo da FCA/UNESP para análise. Os resultados obtidos através destas análises são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das análises químicas de amostras de solo coletadas na área experimental durante a condução do experimento. Botucatu, 2003

DAT	Ph	M.O.	P	H+Al	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g dm ⁻³	Mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----					-----Mg dm ⁻³ -----			
0	6,9	14	199	9	2,0	62	14	0,09	3,2	37	12,2	0,9
Dose zero												
55	6,7	12	69	10	3,1	51	16	0,20	1,1	15	7,2	8,9
91	6,7	15	133	10	6,0	46	13	0,09	1,2	18	10,4	9,9
119	6,8	13	100	10	4,6	43	12	0,07	1,3	18	11,0	9,3
139	6,7	12	110	10	3,5	42	12	0,08	1,3	17	11,4	1,1
Dose 1 (3,5 L min ⁻¹)												
55	6,8	12	136	10	1,7	50	14	0,21	1,1	17	9,2	8,8
91	6,6	15	137	9	8,4	37	10	0,06	1,1	21	12,8	9,3
119	6,8	14	133	10	3,8	50	15	0,08	1,1	18	9,6	11,3
139	6,9	16	102	10	2,9	58	16	0,07	1,4	13	7,5	6,1
Dose 2 (6,5 L min ⁻¹)												
55	6,6	12	181	10	3,8	47	8	0,16	1,1	15	9,0	11,7
91	6,8	18	137	9	7,2	45	12	0,10	1,1	20	9,5	12,2
119	6,8	14	137	10	5,7	46	14	0,07	1,0	17	9,3	9,0
139	6,7	13	104	10	4,4	47	12	0,09	1,3	21	12,3	10,7
Dose 3 (13,0 L min ⁻¹)												
55	6,6	14	88	10	2,3	42	10	0,16	1,1	18	9,4	12,6
91	6,7	16	93	10	5,5	48	12	0,09	1,2	20	10,1	12,5
119	6,8	13	67	10	3,0	43	11	0,06	1,1	17	9,5	10,7
139	6,8	14	118	10	5,4	48	11	0,08	1,1	19	8,7	11,0

Fonte: Laboratório de análise de solos do Departamento de Recursos Naturais - Setor de Ciência do Solo da FCA/UNESP.

3.10 Delineamento estatístico

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com dois híbridos de tomate (Andrea e Débora Plus), quatro níveis de aplicação de CO₂ na água de irrigação (sem aplicação de CO₂, com aplicação de 772, 1456 e 2911 kg ha⁻¹ de CO₂), resultando num total de oito tratamentos, com cinco repetições. Para cada repetição, foram utilizadas 20 plantas úteis, totalizando 800 plantas.

Devido à necessidade de separar as parcelas em que foi aplicado CO₂ da que não recebeu aplicação, o experimento foi dividido em quatro partes (Figura 3). Sendo assim tornou-se necessária à realização da análise conjunta dos dados, que foi feita segundo Gomes

(1977), objetivando verificar o efeito das doses de CO₂ aplicadas via água de. Para avaliar o efeito de híbridos sobre as características analisadas, procedeu-se ao teste de Tukey para comparação de médias. O efeito das diferentes doses de CO₂ sobre estas características foi avaliado a partir de análise de regressão polinomial, sendo que quando se constatou, pelo teste F, efeito de interação dose x híbrido, a regressão foi realizada para cada um dos híbridos separadamente, enquanto que quando não se observou interação, a regressão foi realizada conjuntamente para os híbridos Andrea e Débora Plus.

Figura 3. Esquema de distribuição dos tratamentos dentro do ambiente experimental.

Andrea	Débora Plus	Dose 6,5 L min ⁻¹
Débora Plus	Andrea	
Débora Plus	Andrea	
Andrea	Débora Plus	
Débora Plus	Andrea	
Dose 0		
Dose 3,5 L min ⁻¹		Dose 13,0 L min ⁻¹

3.11 Características determinadas

3.11.1 De crescimento

Durante o ciclo do tomateiro foram feitas coletas periódicas de plantas visando analisar o crescimento da cultura colhendo-se uma planta por parcela experimental, totalizando 40 plantas por coleta. Após esse procedimento, as plantas foram levadas para o laboratório da FEPP de São Manuel, onde foram separadas em folhas, caule e frutos.

Foi determinada a área foliar com uso do aparelho “Area meter 3100 da LI-COR”, sendo que até a segunda coleta, a área foliar foi determinada utilizando-se todas as folhas das plantas coletadas; a partir da terceira, devido ao grande volume de folhas, a área foliar passou a ser estimada por amostragem, de acordo com metodologia descrita por Benicasa (1988).

Após a separação, as diferentes partes foram lavadas em água corrente, em seguida com detergente neutro, enxaguadas em água destilada e novamente enxaguadas em água deionizada, segundo metodologia de Malavolta et al. (1989), para então serem acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa de circulação forçada a $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ até atingir peso constante e posteriormente pesadas em balança de precisão. Em seguida estas amostras foram ordenadas e armazenadas. Foram realizadas cinco coletas de plantas nas seguintes datas:

- **1ª coleta** → 27/05/2003 (42 DAT) - fase de desenvolvimento vegetativo;
- **2ª coleta** → 17/06/2003 (63 DAT) - fase de início do florescimento;
- **3ª coleta** → 08/07/2003 (84 DAT) - fase de início da frutificação;
- **4ª coleta** → 29/07/2003 (105 DAT) - fase de plena frutificação;
- **5ª coleta** → 19/08/2003 (126 DAT) - fase de final da frutificação.

3.11.2 Medidas de trocas gasosas:

Para obtenção das medidas de trocas gasosas utilizou-se o aparelho medidor de trocas gasosas “IRGA LI-6400 da LI-COR”. Desta forma, foi determinada a assimilação líquida de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Foram realizadas medidas de trocas gasosas em três diferentes períodos durante a condução do experimento, aos 58, 99 e 130 DAT (início da floração, frutificação e final da colheita respectivamente), correspondendo às seguintes datas respectivamente: 12/06, 23/07 e 23/08 de 2003. Estas medidas foram realizadas sempre entre 9:00 e 11:30 horas e 14:00 e 16:30 horas, em três plantas por parcela sendo realizada três leituras em cada planta, visando desta forma estudar as respostas dos híbridos e da aplicação de CO_2 nestes dois horários.

3.11.3 Determinações do pH na água de irrigação

No dia 02/07/2003, utilizando um medidor portátil DIGIMED – DM5, foram realizadas medidas do pH da água de irrigação, sem aplicação do CO_2 e com aplicação das três concentrações. Para estas determinações, foram colhidas amostras de água nas linhas de

gotejo, nos dois ambientes, em cinco pontos distintos em cada ambiente. Imediatamente após o recolhimento de cada amostra, foram realizadas as determinações do pH.

3.11.4 Determinações do pH e da condutividade elétrica (CE) do solo

As medidas de pH e EC do solo, na linha de plantio, onde ocorreu a aplicação do gás nas três diferentes concentrações e onde este não foi aplicado. Estas determinações foram feitas 15 minutos antes, durante e 30 e 60 minutos após aplicação do gás, para verificar o efeito deste sobre aquelas características. As medições foram realizadas em 21/05 e 10/07/2003 (respectivamente aos 36 e 86 DAT) às 09:00 horas (antes da aplicação do gás); 09:15 horas (momento da aplicação do gás) e às 09:45 e 10:45 horas (após a aplicação do gás).

Foram escolhidos cinco pontos distintos, ao acaso, na linha de plantio, abaixo da fita de gotejadores, onde eram coletadas amostras de solo de 0 a 10 cm, com auxílio de um trado. As amostras de 40 mL de solo eram colocadas em recipiente, sendo acrescentado 80 mL de água destilada, procedendo-se em seguida homogeneização da solução e medidas de pH e EC utilizado-se os aparelhos DIGIMED –DM5 e DIGIMED-DM3 respectivamente.

3.11.5 Teores de nutrientes nos tecidos das plantas

A partir das amostras secas das plantas foram realizadas análises químicas para se obter os teores de nutrientes nos diferentes órgãos das plantas, no decorrer do crescimento da cultura, com aplicação das diferentes concentrações de CO₂ e sem aplicação do gás. A análise química dos materiais vegetais seguiu a metodologia de Malavolta et al. (1989): Extração de nitrogênio por digestão ácida a quente e determinação pelo método de Kjeldahl e extração de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, zinco, cobre e manganês por digestão nítrico perclórica.

3.11.6 Componentes da produção

Para determinação da produção dos híbridos de tomate em função das diferentes concentrações de CO₂ foram realizadas colheitas de frutos em intervalos semanais, de cinco

plantas por parcela, sendo esta iniciada em 24 de julho de 2003, quando as plantas estavam com 100 DAT. As características de produção que foram avaliadas são apresentadas a seguir:

- Número total de frutos por metro quadrado;
- Número total de frutos comerciais por metro quadrado;
- Produção total de frutos (kg m^{-2});
- Produção comercial de frutos (kg m^{-2});

Foram considerados frutos comerciais aqueles que apresentaram uma massa fresca superior á 70g e 90g, respectivamente para os híbridos Andrea e Débora Plus, e que não apresentaram nenhum dano físico ou fisiológico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características de crescimento

Através da análise dos dados de área foliar, não foi observada interação entre CO₂ x híbrido, entretanto verificaram-se diferenças significativas entre os híbridos (Tabela 4), sendo que o híbrido Andrea apresentou área foliar superior em relação ao híbrido Débora Plus, aos 63 e aos 105 DAT (início da fase de floração e plena frutificação respectivamente).

Tabela 4. Área foliar média (cm²) de dois híbridos de tomate em diferentes fases de desenvolvimento da cultura. São Manuel – SP, 2003.

Híbridos	Dias após o transplante (DAT)				
	42	63	84	105	126
Andrea	3750,65 a	14172,69 a	21322,91 a	25724,93 a	24444,11 a
Débora Plus	4046,01 a	13341,16 b	20739,14 a	24517,66 b	24745,95 a
C.V. %	12,26	7,35	6,41	4,10	3,81

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (0,05).

No que diz respeito ao efeito das diferentes concentrações de CO₂ sobre a área foliar, constatou-se efeito quadrático em todas as datas avaliadas. De um modo geral, o aumento na concentração do gás na água possibilitou maior desenvolvimento de área foliar até um certo ponto, calculado em torno de 7,0 L min⁻¹, a partir do qual o efeito tornou-se negativo. Estes resultados estão apresentados nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 e corroboram com os relatados por

Pinto et al. (1999), trabalhando com a cultura do melão e Gomes (2001), com a cultura da alface, também verificaram aumento de área foliar com aplicação de água carbonatada.

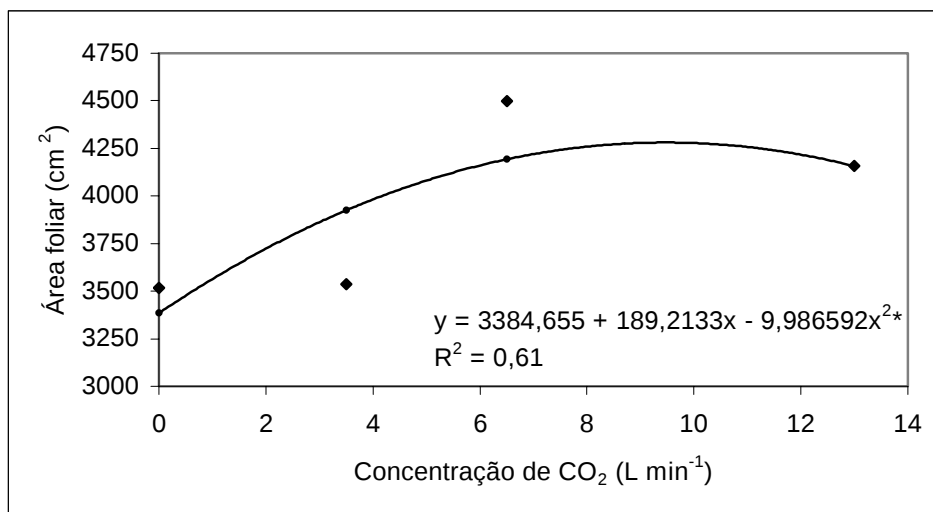


Figura 4. Área foliar média (cm²) de dois híbridos de tomateiro, aos 42 DAT (fase de desenvolvimento vegetativo), em função das concentrações de CO₂ aplicadas via água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

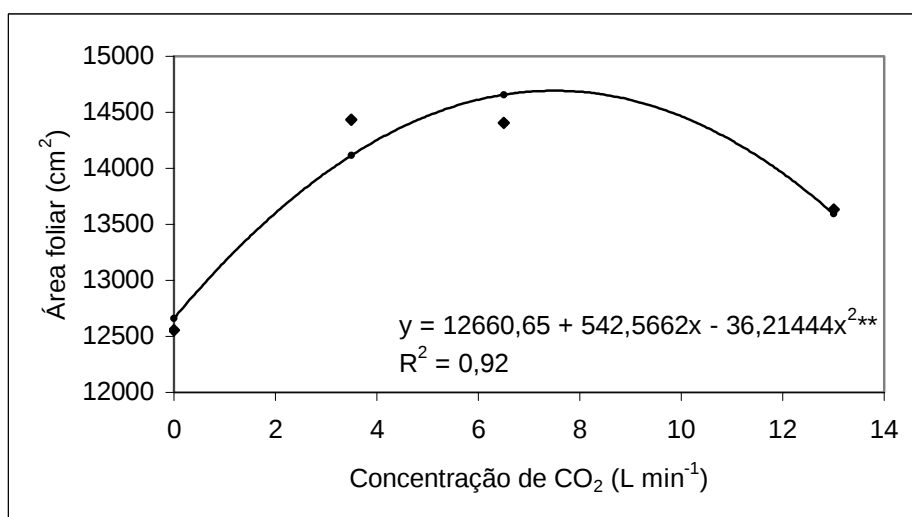


Figura 5. Área foliar média (cm²) de dois híbridos de tomateiro, aos 63 DAT (início do florescimento), em função das concentrações de CO₂ aplicadas via água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

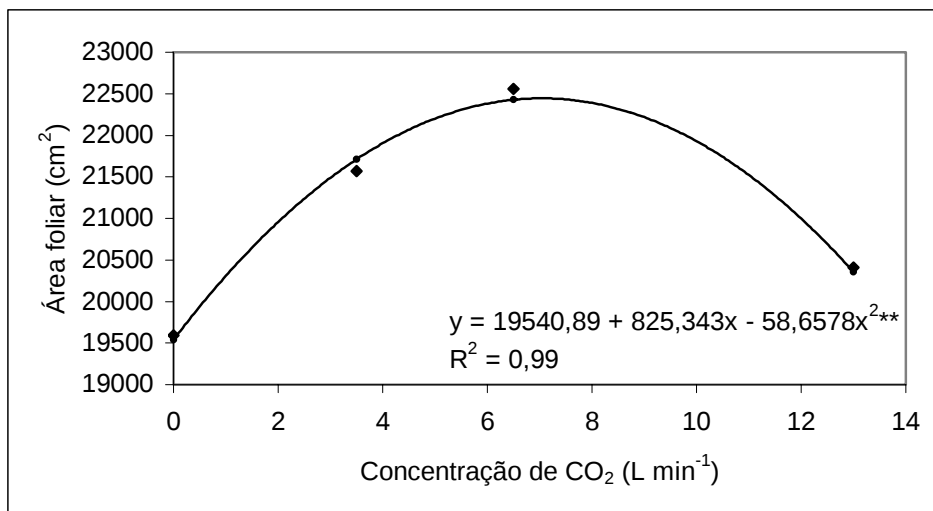


Figura 6. Área foliar média (cm²) de dois híbridos de tomateiro, aos 84 DAT (início da frutificação), em função das concentrações de CO₂ aplicadas via água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

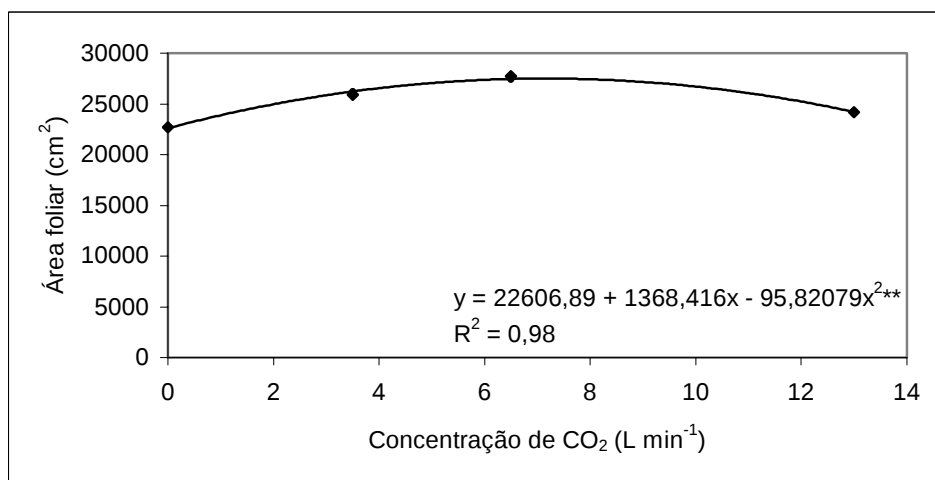


Figura 7. Área foliar média (cm²) de dois híbridos de tomateiro, aos 105 DAT (plena frutificação), em função das concentrações de CO₂ aplicadas via água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

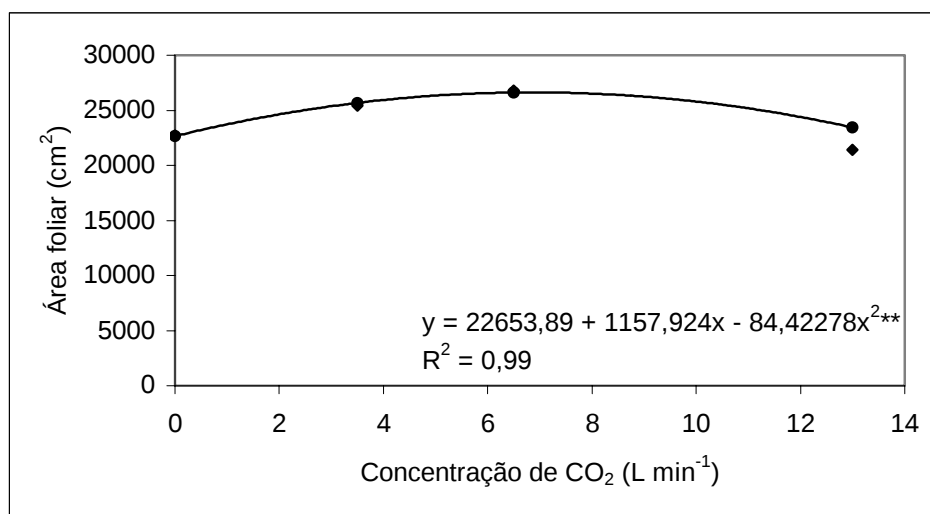


Figura 8. Área foliar média (cm²) de dois híbridos de tomateiro, aos 126 DAT (fase final de produção), em função das concentrações de CO₂ aplicadas via água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Para o característica massa seca total, apenas foi observada diferença entre os híbridos aos 126 DAT (Tabela 5), com o híbrido Andrea apresentando maior massa seca em relação ao híbrido Débora Plus (respectivamente 350,15 e 305,09 g).

Tabela 5. Massa seca total média (g) de dois híbridos de tomate em diferentes fases de desenvolvimento da cultura. São Manuel – SP, 2003.

Híbridos	Dias após o transplante (DAT)				
	42	63	84	105	126
Andrea	33,40 a	91,87 a	192,84 a	321,60 a	350,15 a
Débora Plus	33,67 a	93,48 a	182,95 a	283,04 a	305,09 b
C.V. %	4,47	4,40	24,76	22,66	16,54

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (0,05).

Com relação ao efeito das concentrações de CO₂ aplicadas nos dois híbridos de tomateiro, houve diferença significativa na massa seca apenas aos 42 e 126 DAT (Figuras 9 e 10), sendo este efeito expresso por equações quadráticas, em ambas as datas respectivamente ($y = 31,2142 + 0,9285x - 0,0540x^2$ e $y = 279,9151 + 23,2932x - 1,5434x^2$). As melhores doses estimadas através das equações foram 8,59 L min⁻¹ (42 DAT) e 7,54 L min⁻¹ (126 DAT).

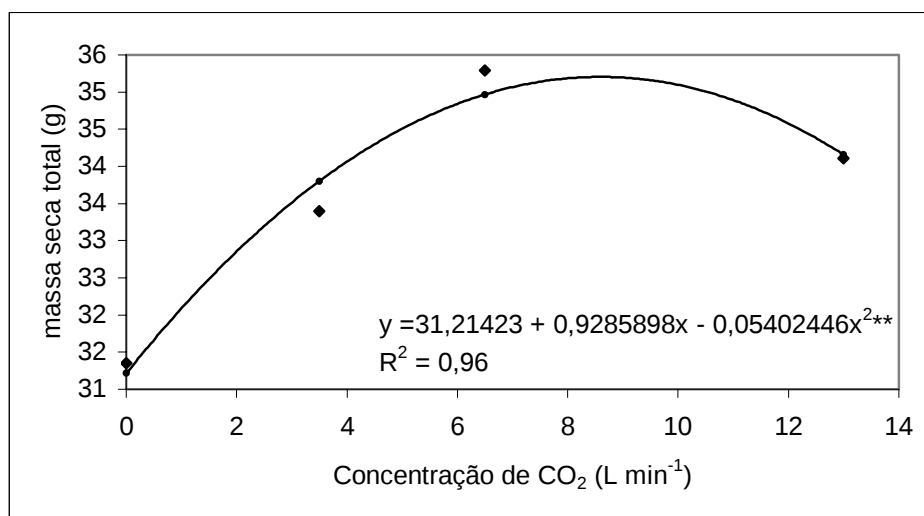


Figura 9. Massa seca total (g) de dois híbridos de tomateiro, aos 42 DAT (fase de desenvolvimento vegetativo), em função das concentrações de CO₂ aplicadas via água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

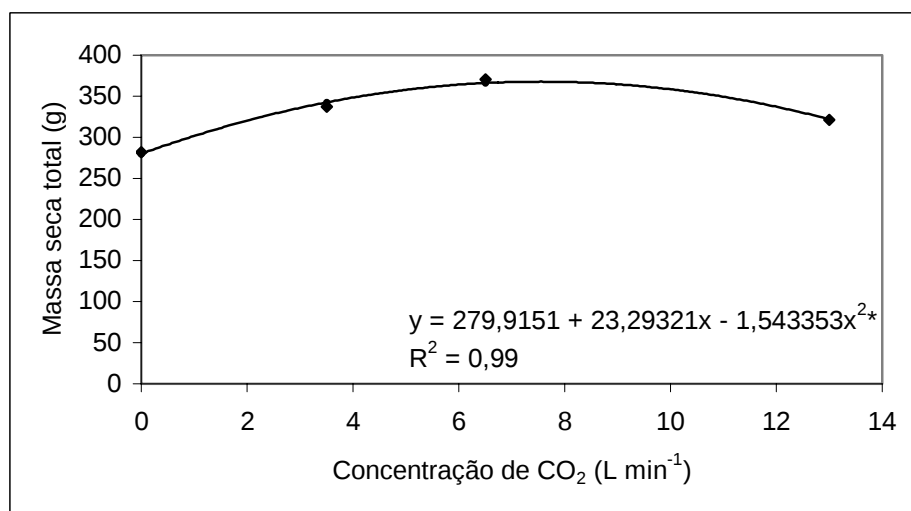


Figura 10. Massa seca total (g) de dois híbridos de tomateiro, aos 126 DAT (fase final de frutificação), em função das concentrações de CO₂ aplicadas via água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

4.2 Medidas de trocas gasosas

Na Tabela 6 é apresentado um resumo dos dados coletados com aparelho IRGA LI-6400, durante a condução da cultura, mostrando a assimilação líquida de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Estes valores são as médias de quatro medições realizadas em cada parcela, sendo que o período da manhã correspondia ao horário das 9:00 às 11:30 e o período da tarde, das 14:00 às 16:30 horas.

Não ocorreu diferença significativa ($P > 0,05$) entre os híbridos testados para assimilação líquida de CO₂, assim como não foi verificada significância, pelo teste F, para as diferentes doses aplicadas. Estes resultados estão de acordo com os verificados por Cararo (2000) e Gomes (2001), os quais não observaram aumento na assimilação líquida de CO₂ quando empregada água carbonatada, via sistema de irrigação por gotejo, nas culturas de tomate e alface, respectivamente. Este fato pode ser explicado devido à concentração de CO₂ atmosférico ser muito baixa ($330 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar), sendo assim, se o CO₂ que pode não estar dissolvido na água atingir a superfície do solo, se diluiria rapidamente na atmosfera, não sendo suficiente para alterar a taxa assimilatória líquida de CO₂.

Tabela 6. Medidas da assimilação líquida de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em dois híbridos de tomateiro, no período da manhã e da tarde (9:00 e 14:00 h), em três fases de desenvolvimento da cultura, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	Dias após o transplante					
		63		84		105	
		9:00h	14:00h	9:00h	14:00h	9:00h	14:00h
0 L min ⁻¹	Andrea	19,97	21,67	20,69	24,86	18,64	15,82
	Deb. Plus	19,80	20,37	19,29	25,79	18,21	15,74
3,5 L min ⁻¹	Andrea	19,67	21,30	21,00	25,33	18,87	15,10
	Deb. Plus	18,98	21,23	20,67	24,90	18,53	15,73
6,5 L min ⁻¹	Andrea	19,26	21,37	19,80	25,67	19,13	15,23
	Deb. Plus	19,47	21,30	20,67	25,45	19,10	16,03
13,0 L min ⁻¹	Andrea	19,33	21,30	19,83	25,68	19,23	16,00
	Deb. Plus	19,87	21,20	19,58	24,67	18,87	15,94

4.3 Determinação de pH na água de irrigação

Verificou-se que na água pura (sem aditivos de fertilizantes para fertirrigação), a injeção do gás, via Venturi, resultou em queda considerável no pH (Figura 11). Este resultado foi relatado por outros autores (Novero et al., 1991; Basile et al., 1993), podendo este fato aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes na solução do solo, favorecendo, desta forma, a produtividade (Novero et al., 1991).

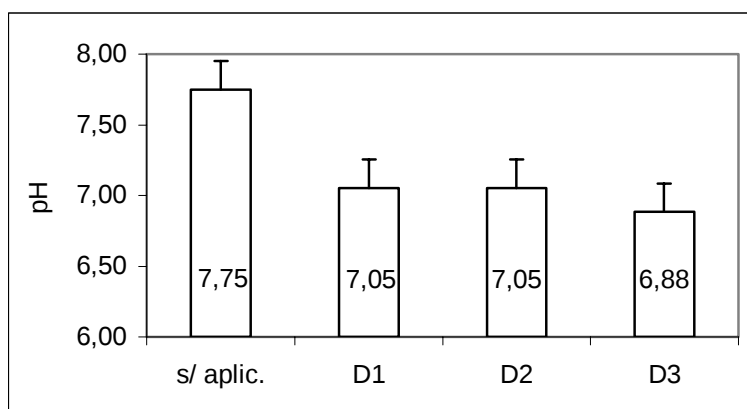


Figura 11. Variações do pH da água de irrigação no momento da aplicação do CO₂, em três dosagens (D1 = 3,5; D2 = 6,5 e D3 = 13,0 L min⁻¹). Medida realizada no dia 02/07/2003. Cada valor representa a média de cinco repetições e as barras representam o desvio padrão da média.

4.4 Determinação de pH e condutividade elétrica da solução do solo.

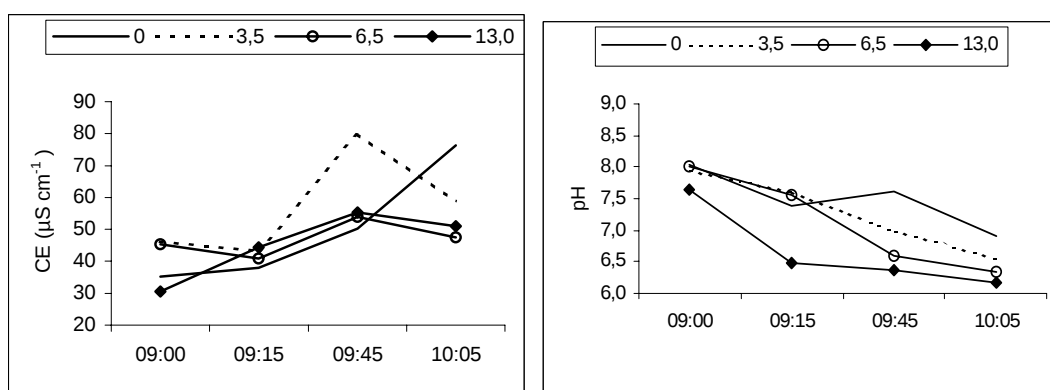


Figura 12. Condutividade elétrica (a) e pH (b) da solução do solo, aos 36 DAT, em função da aplicação de quatro concentrações de CO₂ (0; 3,5; 6,5 e 13,0 L min⁻¹) na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

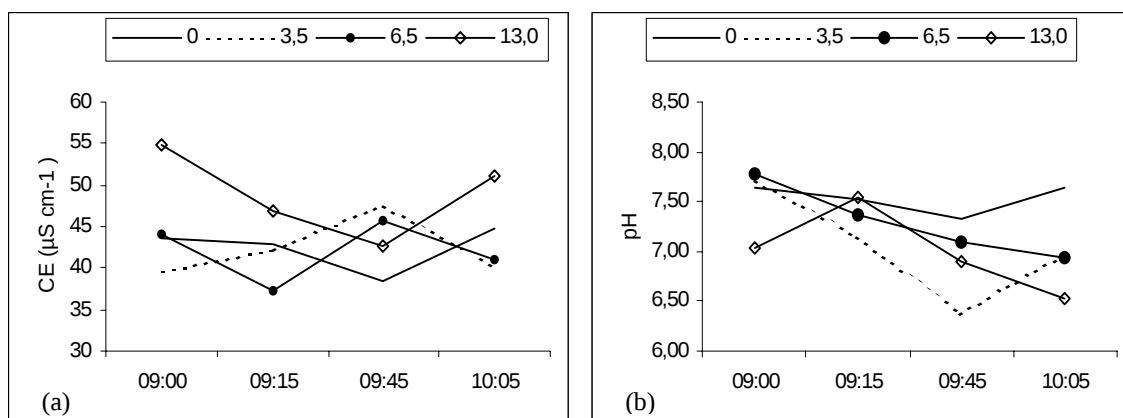


Figura 13. Condutividade elétrica (a) e pH (b) da solução do solo, aos 86 DAT, em função da aplicação de quatro concentrações de CO₂ (0; 3,5; 6,5 e 13,0 L min⁻¹) na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Como pode ser observado nas Figuras 12 e 13, a aplicação da água com CO₂ promoveu uma redução mais acentuada do pH da solução do solo em relação à testemunha, sendo que uma hora após a aplicação do gás, o pH teve tendência de elevação. Estes resultados corroboram com os obtidos por Novero et al. (1991) e Basile et al. (1993), que relatam redução momentânea do pH quando aplicada água carbonatada.

4.5 Teores de nutrientes

As concentrações de nutrientes nos híbridos Andrea e Débora Plus foram avaliadas em cinco datas distintas e representativas de importantes eventos fisiológicos para as plantas. Assim, coletas e observações foram feitas aos 42 dias após o transplante (DAT), momento anterior ao florescimento dos tomateiros; aos 63 DAT, fase inicial de floração; aos 84 DAT, início da frutificação; aos 105 DAT, fase de plena frutificação e aos 126 DAT, fase final de produção.

Para facilitar a comparação dos teores médios dos macro e micronutrientes avaliados em função dos níveis de CO₂ aplicados à água de irrigação, os resultados estão apresentados dentro de cada uma das fases estudadas.

4.5.1 Teores de nutrientes aos 42 DAT (fase de desenvolvimento vegetativo)

Os teores médios dos macronutrientes encontrados nos híbridos Andrea e Débora Plus nas diferentes concentrações de CO₂ estudadas aos 42 DAT são apresentados na Tabela 7, enquanto que os teores médios dos micronutrientes são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7. Teores médios de macronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 42 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----							
0 L min ⁻¹	Andrea	15	1,2	16	34	8,3	7,8
	Deb. Plus	13	1,2	19	33	6,3	9,0
3,5 L min ⁻¹	Andrea	13	1,3	21	39	6,8	9,1
	Deb. Plus	11	1,2	16	40	7,5	7,7
6,5 L min ⁻¹	Andrea	13	1,3	16	37	7,1	9,2
	Deb. Plus	11	1,3	21	31	7,1	8,1
13,0 L min ⁻¹	Andrea	12	1,3	16	35	7,4	7,4
	Deb. Plus	12	1,2	19	36	6,8	8,2

Tabela 8. Teores médios de micronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 42 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (mg kg ⁻¹) -----						
0 L min ⁻¹	Andrea	66	16	226	325	45
	Deb. Plus	66	14	211	328	46
3,5 L min ⁻¹	Andrea	60	13	225	322	46
	Deb. Plus	63	13	226	318	48
6,5 L min ⁻¹	Andrea	64	15	220	322	48
	Deb. Plus	63	12	217	323	45
13,0 L min ⁻¹	Andrea	64	10	222	318	53
	Deb. Plus	66	14	215	323	47

Neste estágio, quando foram avaliados os macronutrientes, foram detectadas diferenças nos teores de potássio, cálcio e magnésio entre os tratamentos estudados, ora em função dos teores de CO₂ aplicados, ora em função dos híbridos e/ou em função da interação entre dose x híbrido. Deste modo, para os teores de potássio, foi constatada interação significativa entre doses e híbridos. O teste de Tukey realizado para comparação dos teores médios de potássio nos híbridos Andrea e Débora Plus são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Análise de variância para comparação dos teores médios de potássio nos híbridos Andrea e Débora Plus em função de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação .

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Doses	3	8,1667	2,7222	0,4414 ns
Híbridos	1	20,1667	20,1667	3,2703 ns
Fator doses x hib.	3	83,5000	27,8333	4,5135*
(tratamentos)	7	111,8333	15,9762	
Resíduo	16	98,6667	6,1667	

Observou-se através da Tabela 10 que, no grupo controle, sem adição de CO₂, não ocorreu diferença significativa entre os híbridos testados. Com adição de água carbonatada na concentração de 3,5 L min⁻¹ foi observado em teor de potássio, superior, no híbrido Andrea em relação ao híbrido Débora Plus, enquanto que a administração de 6,5 L min⁻¹ de CO₂ na água de irrigação elevou os teores de potássio no híbrido Débora para níveis significativamente superiores que os do híbrido Andrea. A utilização de concentrações mais elevadas de CO₂ (13,0 L min⁻¹) não promoveram alterações na absorção de potássio entre os dois híbridos.

Tabela 10. Teores médios de potássio (g kg⁻¹), aos 42 DAT, na parte aérea de dois híbridos de tomateiro em função da aplicação de água carbonatada. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	Concentração de CO ₂ (L min ⁻¹)			
	0	3,5	6,5	13,0
Andrea	16 a	21 a	16 b	16 a
Débora Plus	19 a	16 b	21 a	19 a
C.V. %	13,61			

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (0,05).

O estudo do efeito das doses de CO₂ dentro dos híbridos, realizada através da análise de regressão polinomial indicou haver efeito quadrático da elevação da concentração de CO₂ sobre o teor de potássio para o híbrido Andrea, expresso pela equação $y = 15,960 + 2,0052x - 0,1519x^2$ (Figura 14), enquanto que para o híbrido Débora Plus não se constatou efeito da elevação de CO₂ sobre a absorção de potássio. A derivação da equação, acima apresentada, permite inferir que a absorção, teórica, máxima de potássio para o híbrido Andrea deva ocorrer numa concentração de 6,6 L min⁻¹ e que a partir desta concentração incrementos na dose de CO₂ levam a uma redução na absorção de potássio.

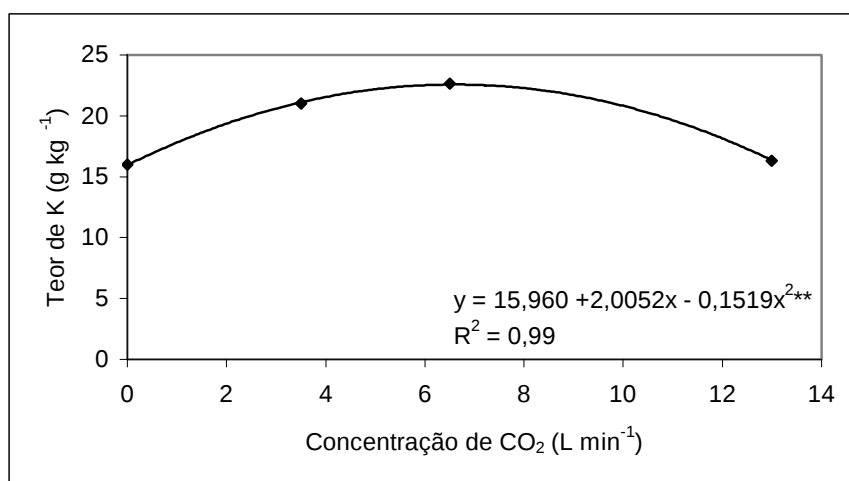


Figura 14. Teor médio de potássio na parte aérea do híbrido Andrea, aos 42 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Para os teores de cálcio absorvido aos 42 DAT foi constatado efeito das doses de CO₂, não ocorrendo efeito nos híbridos e da interação doses x híbridos. Assim, verificou-se através da equação de regressão que os teores de cálcio aumentaram em função da administração de CO₂, de acordo com a equação $y = 34,17 + 1,686x + 0,1147x^2$ (Figura 15), ou seja, a elevação ocorreria até o nível de inclusão de aproximadamente 7,3 L min⁻¹ e, a partir daí ocorreria redução na absorção de cálcio em função do aumento para ambos os híbridos.

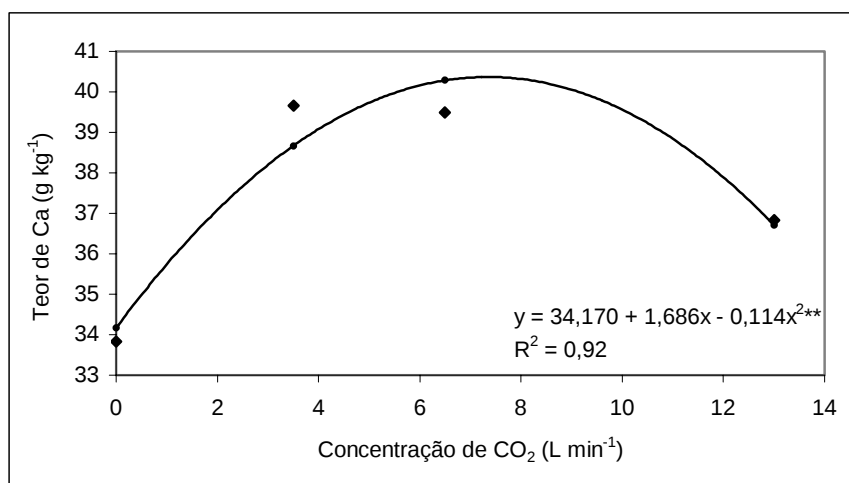


Figura 15. Teor médio de cálcio na parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 42 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Os valores de absorção de magnésio aos 42 DAT evidenciaram efeito significativo da interação entre doses de CO₂ x híbridos (Tabela 11). Assim, a comparação entre os híbridos Andrea e Débora Plus nas diferentes concentrações aplicadas indicou haver diferença entre os híbridos apenas no tratamento controle (sem aplicação do gás), quando foram verificados teores de magnésio significativamente superiores no híbrido Andrea em relação ao híbrido Débora Plus (Tabela 12).

Tabela 11. Análise de variância para comparação dos teores médios de magnésio nos híbridos Andrea e Débora Plus em função de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação .

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Doses	3	0,8046	0,2682	1,1682 ns
Híbridos	1	0,7004	0,7004	3,0508 ns
Fator doses x hib.	3	3,6212	1,2071	5,2577*
(tratamentos)	7	5,1263	0,7323	
Resíduo	16	3,6733	0,2296	

Tabela 12. Teores médios de magnésio (g kg^{-1}), aos 42 DAT, na parte aérea de dois híbridos de tomateiro em função da aplicação de água carbonatada. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	Concentração de CO_2 (L min^{-1})			
	0	3,5	6,5	13,0
Andrea	8,3 a	6,9 a	7,1 a	7,4 a
Débora Plus	6,8 b	7,5 a	7,1 a	6,9 a
C.V. %	6,61			

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (0,05).

O efeito das doses de CO_2 sobre os híbridos indicou efeito quadrático para o híbrido Andrea, expressa pela equação $y = 8,179 - 0,352x + 0,0227x^2$ (Figura 16) evidenciando redução na absorção de magnésio a partir da aplicação de níveis médios de CO_2 , com o ponto de inflexão da curva estando próximo da dose de $7,7 \text{ L min}^{-1}$.

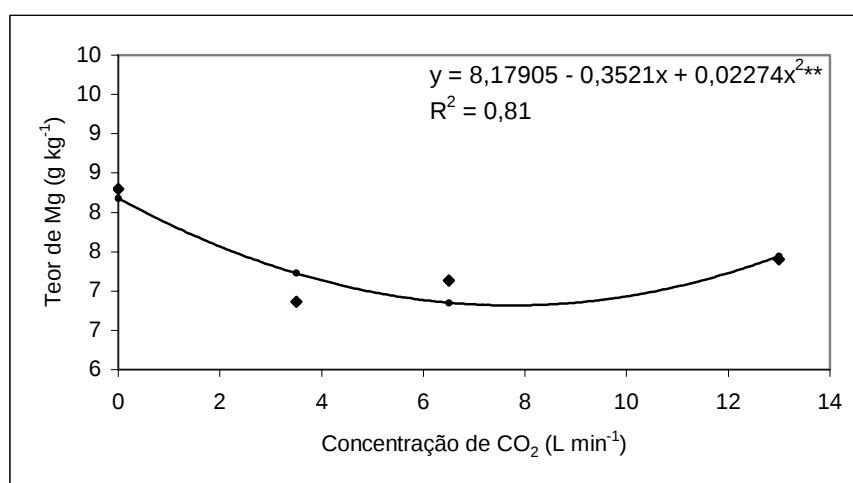


Figura 16. Teor médio de magnésio na parte aérea do híbrido Andrea, aos 42 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO_2 na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Dentre os micronutrientes estudados, foi constatado efeito da utilização de CO_2 apenas para o elemento boro, expresso pela equação $y = 65,788 - 0,9773x + 0,0733x^2$ (Figura 17), indicando que a inclusão de CO_2 à água de irrigação diminuiu a absorção até o nível

aproximado de $6,64 \text{ L min}^{-1}$ e que, a partir desse ponto, a elevação dos teores de CO_2 implicou em aumento na absorção de boro por ambos os híbridos.

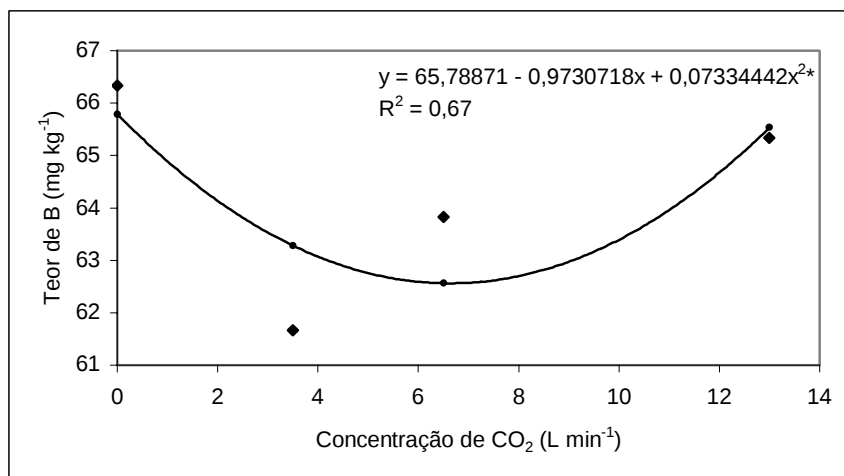


Figura 17. Teor médio de boro na parte aérea do híbrido Andrea, aos 42 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO_2 na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Os resultados obtidos nessa fase experimental evidenciam pequenas diferenças entre os híbridos testados quanto à absorção de nutrientes, apresentando ambos comportamento semelhante em quase todas as concentrações de CO_2 estudadas, sendo que para os macronutrientes, pequenas diferenças foram detectadas no tratamento controle e na dose de $3,5 \text{ L min}^{-1}$ para a absorção de potássio e, apenas no grupo controle, para absorção de magnésio. Quanto à absorção de micronutrientes, não foram encontradas quaisquer diferenças significativas entre os híbridos Andrea e Débora Plus.

A utilização de concentrações crescentes de CO_2 afetou significativamente a absorção de potássio, cálcio, magnésio e boro, notadamente no híbrido Andrea.

Os resultados encontrados apontam para o estabelecimento de uma competição entre os macronutrientes potássio, cálcio e magnésio, sendo que a elevação das doses de CO_2 na água de irrigação até valores próximos a $6,5 \text{ L min}^{-1}$ promoveu aumentos significativos na absorção de potássio e cálcio e concomitante redução na absorção de magnésio.

4.5.2 Teores de nutrientes aos 63 DAT (fase de início de florescimento)

Os valores médios de macronutrientes aos 63 DAT presentes nos híbridos Andrea e Débora Plus nas diferentes doses de CO₂ são apresentados na Tabela 13, enquanto os teores de micronutrientes são apresentados na Tabela 14.

Tabela 13. Teores médios de macronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 63 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----							
0 L min ⁻¹	Andrea	36	3,8	26	40	8,3	6,8
	Deb. Plus	37	3,8	26	31	7,3	6,0
3,5 L min ⁻¹	Andrea	38	4,2	26	42	8,7	7,3
	Deb. Plus	37	5,1	31	38	8,1	6,8
6,5 L min ⁻¹	Andrea	39	4,9	30	41	7,9	7,1
	Deb. Plus	33	4,8	29	40	7,2	6,0
13,0 L min ⁻¹	Andrea	35	5,6	29	39	7,4	6,6
	Deb. Plus	35	4,2	28	45	8,0	6,9

Tabela 14. Teores médios de micronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 63 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (mg kg ⁻¹) -----						
0 L min ⁻¹	Andrea	53	12	149	180	22
	Deb. Plus	47	12	145	182	26
3,5 L min ⁻¹	Andrea	61	14	190	221	25
	Deb. Plus	47	13	153	196	23
6,5 L min ⁻¹	Andrea	52	14	161	133	23
	Deb. Plus	56	9	183	147	19
13,0 L min ⁻¹	Andrea	64	15	180	143	26
	Deb. Plus	57	16	165	183	26

Nessa fase, foram detectadas diferenças significativas somente para absorção dos macronutrientes fósforo e cálcio.

Para os teores de fósforo, foram constatadas diferenças em função das doses e da interação entre doses x híbridos (Tabela 15). Desta forma, a absorção de fósforo apresentou-se

significativamente superior no híbrido Andrea em relação ao híbrido Débora, quando na dose de $13,5 \text{ L min}^{-1}$. A elevação na dose de CO_2 promoveu alteração significativa e linear sobre a absorção de fósforo apenas no híbrido Andrea, sendo este efeito expresso pela equação $y = 3,82 + 0,1472x$ (Figura 18).

Tabela 15. Teores médios de fósforo (g kg^{-1}), aos 63 DAT, na parte aérea de dois híbridos de tomateiro em função da aplicação de água carbonatada. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	Concentração de CO_2 (L min^{-1})			
	0	3,5	6,5	13,0
Andrea	3,8 a	4,2 a	5,0 a	5,7 a
Débora Plus	3,8 a	5,1 a	4,8 a	4,2 b
C.V. %	13,13			

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (0,05).

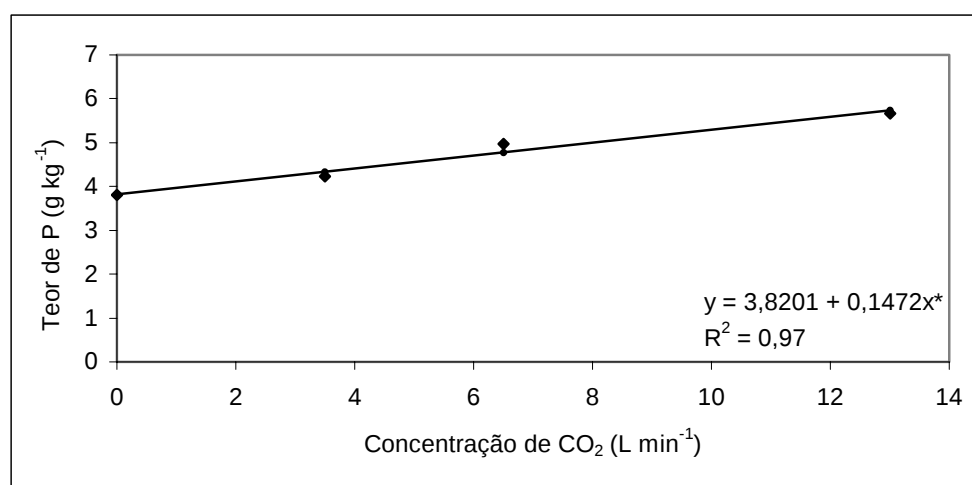


Figura 18. Teor médio de fósforo na parte aérea do híbrido Andrea, aos 63 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO_2 na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

O teor de cálcio foi influenciado positivamente pela aplicação de água carbonatada, independente do híbrido estudado, representado matematicamente pela equação $y = 34,853 +$

0,6415x (Figura 19), ocorrendo um aumento linear no teor de cálcio nos tecidos em função do aumento da dose de CO₂ aplicada na água de irrigação.

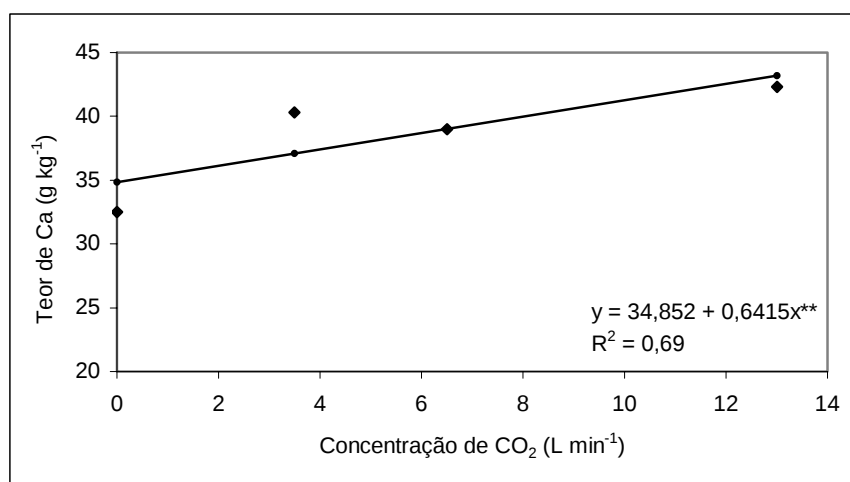
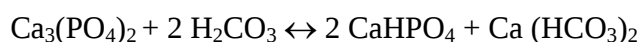
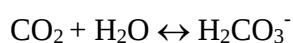


Figura 19. Teor médio de cálcio na parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 63 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

No que se refere ao teor de micronutrientes nessa fase, não foram observadas quaisquer alterações em função dos híbridos e tampouco entre as doses de CO₂ aplicadas.

A adição de CO₂ à água de irrigação, levando a uma maior disponibilidade de fósforo e cálcio, é relatada por Enoch e Olesen (1993), que apontam as seguintes seqüências de reações contribuindo para maior solubilização de cálcio e fósforo:



Assim, o efeito do gás carbônico na água seria de promover a formação de ácido carbônico na solução do solo, contribuindo para a solubilização de alguns nutrientes, tornando-os assimiláveis pelas plantas.

4.5.3 Teores de nutrientes aos 84 DAT (fase de início da frutificação)

A partir dessa data, teve início a frutificação dos tomateiros, em ambos os híbridos estudados. Assim, o estudo dos teores de nutrientes foi dividido em análise dos tecidos da parte aérea e análise dos tecidos dos frutos.

Nesse sentido, os teores de macronutrientes na parte aérea dos híbridos Andrea e Débora Plus submetidos às diferentes doses de CO₂ na água de irrigação são apresentados na Tabela 16, enquanto que na Tabela 17 encontram-se as médias dos teores dos micronutrientes.

Tabela 16. Teores médios de macronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 84 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----							
0 L min ⁻¹	Andrea	32	2,7	24	38	7,8	7,6
	Deb. Plus	30	3,6	24	43	7,6	8,4
3,5 L min ⁻¹	Andrea	32	3,9	27	36	8,0	7,8
	Deb. Plus	33	4,3	29	42	8,2	9,8
6,5 L min ⁻¹	Andrea	35	3,8	32	40	8,0	10,8
	Deb. Plus	32	3,6	26	45	8,3	11,6
13,0 L min ⁻¹	Andrea	29	3,4	28	41	7,5	11,1
	Deb. Plus	31	4,4	31	43	7,5	11,4

Tabela 17. Teores médios de micronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 84 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (mg kg ⁻¹) -----						
0 L min ⁻¹	Andrea	69	14	554	301	217
	Deb. Plus	107	13	444	332	271
3,5 L min ⁻¹	Andrea	91	19	449	298	217
	Deb. Plus	93	15	561	339	266
6,5 L min ⁻¹	Andrea	104	20	515	252	175
	Deb. Plus	96	13	569	296	248
13,0 L min ⁻¹	Andrea	87	16	467	263	170
	Deb. Plus	111	12	417	271	203

Com relação aos macronutrientes da parte aérea, a análise estatística revelou efeito entre os híbridos apenas para os elementos nitrogênio, potássio e enxofre, enquanto que, dentro dos micronutrientes, considerando-se apenas a parte aérea, foram detectadas diferenças para os elementos boro, cobre e zinco (Tabela 18).

Tabela 18. Teor de nutrientes na parte aérea de dois híbridos de tomateiro aos 84 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹) -----					
Andrea	32 a	3,5 a	28 a	39 a	7,8 a	9,3 b
Débora Plus	31 b	4,0 a	27 b	43 a	7,9 a	10,3 a
C.V. %	6,70	24,35	11,16	13,93	14,88	16,13
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	----- (mg kg ⁻¹) -----					
Andrea	88 b	17 a	496 a	278 a	195 b	
Débora Plus	102 a	13 b	498 a	309 a	247 a	
C.V. %	12,97	16,68	12,14	22,43	25,36	

Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Embora tenha sido constatada a presença de frutos nesta data amostral, em função do pequeno número de frutos produzidos e do tamanho reduzido desses, as análises realizadas não detectaram quaisquer alterações nos teores dos macro e micronutrientes nos frutos dos híbridos Andrea e Débora Plus submetidos às diferentes concentrações de gás carbônico aplicadas a água de irrigação (Tabela 19).

Tabela 19. Teor de nutrientes nos frutos de dois híbridos de tomateiro aos 84 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹) -----					
Andrea	18 a	3,9 a	32 a	1 a	1,7 a	1,5 a
Débora Plus	18 a	4,2 a	36 a	1 a	1,9 a	1,6 a
C.V. %	18,78	19,65	13,63	23,19	15,31	14,93
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	----- (mg kg ⁻¹) -----					
Andrea	14 a	4 a	34 a	8 a	20 a	
Débora Plus	14 a	3 a	27 a	8 a	19 a	
C.V. %	10,66	24,83	23,96	21,11	22,28	

Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de nitrogênio absorvidos pela parte aérea dos tomateiros testados não apresentaram diferença entre híbridos. Entretanto, detectou-se efeito quadrático da utilização do CO₂ sobre a absorção de nitrogênio nos tomateiros, expressa pela equação $y = 31.3918 + 0.78136x - 0.068x^2$ (Figura 20). A partir dessa equação, pode-se inferir que aumentos na concentração de CO₂ na água de irrigação até o nível estimado de 5,73 L min⁻¹, produzem incrementos na absorção de nitrogênio e que níveis de CO₂ superiores a esse passem a apresentar efeito oposto, ou seja, redução nos teores de nitrogênio.

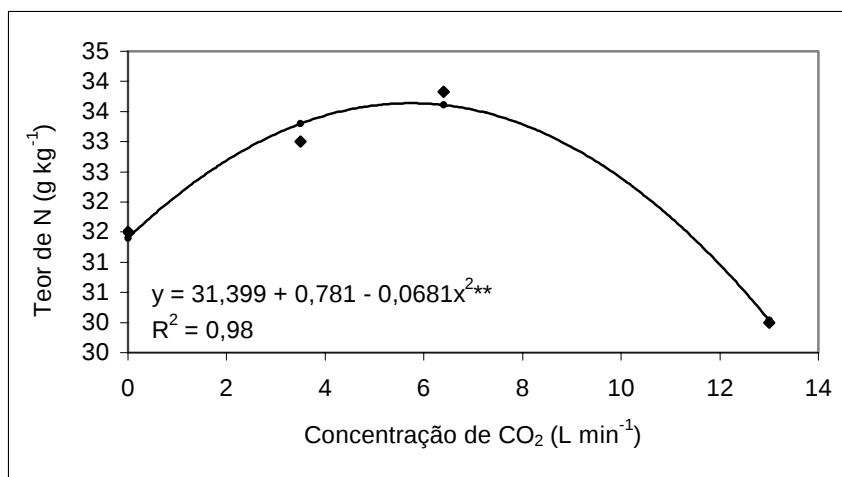


Figura 20. Teor médio de nitrogênio na parte aérea dos híbridos de tomateiro, aos 84 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

O fornecimento de CO_2 nas raízes, influenciando a absorção de nitrogênio, foi observada por vários autores. Nesse sentido, Gao e Lips (1997) relatam que o aumento da absorção de NO_3^- pelas raízes pode ser devido à formação de maiores concentrações de HCO_3^- no interior das raízes, a partir da oxidação do malato, sintetizado a partir do CO_2 . O HCO_3^- seria posteriormente trocado pelo NO_3^- , aumentando assim sua absorção. Além disso, a fixação de carbono inorgânico pelas raízes poderia fornecer esqueletos de carbono para assimilação de NH_4^+ , resultante da redução de NO_3^- .

Por outro lado, Enoch e Olesen (1993) destacam que os processos de nitrificação e formação de nitratos, mediado pelas nitrobactériaceas, apresentaria uma taxa ótima de atividade, diretamente relacionada com as concentrações de CO_2 no solo, sendo que, em teores muito elevados desse gás, essa atividade seria reduzida.

Os teores de potássio e enxofre também apresentaram diferenças significativas somente em função das doses de gás carbônico aplicadas, não sendo detectadas diferenças entre os híbridos Andrea e Débora Plus (Tabela 19). As equações de regressão $y = 25,46963 + 0,425571x$ (Figura 21) e $y = 8,399543 + 0,1653x$ (Figura 22), exprimem o efeito do aumento das concentrações de CO_2 na água de irrigação para os dois nutrientes. Em ambas as situações, os maiores teores de CO_2 propiciaram maior teor destes nutrientes nos tecidos da parte aérea de ambos os híbridos estudados.

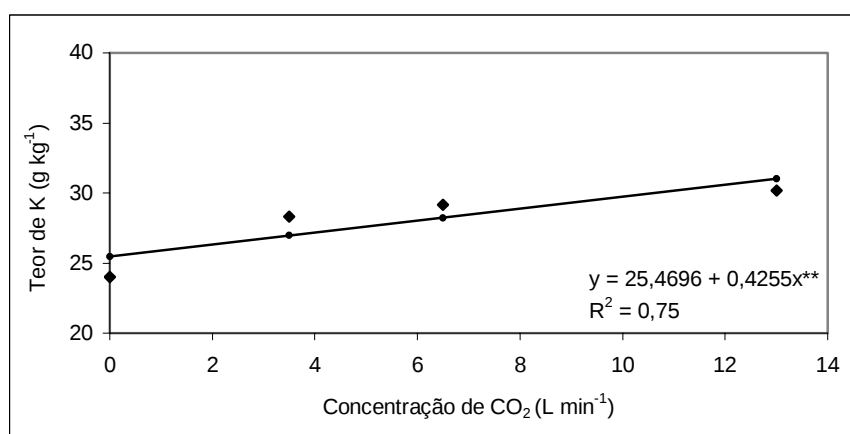


Figura 21. Teor médio de potássio na parte aérea dos híbridos de tomateiro, aos 84 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO_2 na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

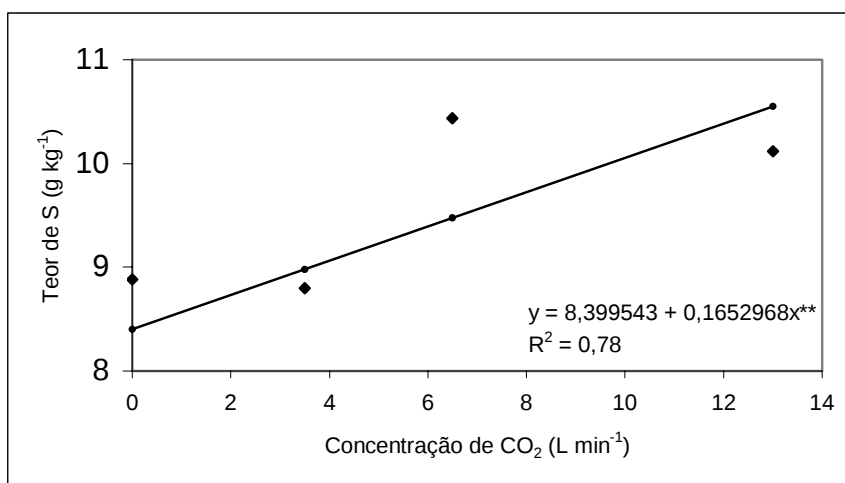


Figura 22. Teor médio de enxofre na parte aérea dos híbridos de tomateiro, aos 84 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Uma provável explicação para esse aumento seria decorrente do aumento na liberação de H⁺ e conseqüente redução momentânea do pH da solução do solo que, segundo Moore (1989), seria benéfica em solos alcalinos, desde que por curtos períodos.

Corroborando com tal afirmação, nas Figuras 12 e 13 foram apresentados valores de pH da solução do solo antes, durante e 30 e 60 minutos após aplicação da água carbonatada, onde foi observado que a aplicação de 13 L min⁻¹ de CO₂ promoveu redução mais pronunciada do pH, quando comparado às demais doses do gás.

Em relação ao teor de micronutrientes na parte aérea, diferentemente do ocorrido com os macronutrientes, às diferenças encontradas foram entre os híbridos, não sendo constatado efeito das doses de CO₂ sobre a absorção dos nutrientes boro, cobre e zinco (Tabela 18). Assim, o híbrido Débora Plus apresentou teores significativamente superiores de boro e zinco que o híbrido Andrea, que apresentou teores mais elevados de cobre que o híbrido Débora Plus.

4.5.4 Teores de nutrientes aos 105 DAT (fase de plena frutificação)

Os teores médios de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea dos híbridos de tomateiro Andrea e Débora Plus, irrigados com diferentes doses de CO₂, aos 105 DAT são apresentados nas Tabelas 20 e 21, respectivamente, enquanto que os teores médios de macro e micronutrientes nos frutos de ambos os híbridos são apresentados nas Tabelas 22 e 23, respectivamente.

Tabela 20 Teores médios de macronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 105 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----							
0 L min ⁻¹	Andrea	26	2,4	21	42	8,3	7,7
	Deb. Plus	24	3,1	19	50	8,3	9,7
3,5 L min ⁻¹	Andrea	26	3,3	25	46	7,9	9,4
	Deb. Plus	27	3,0	25	44	6,6	9,8
6,5 L min ⁻¹	Andrea	28	3,3	30	46	7,3	11,8
	Deb. Plus	27	3,0	24	41	7,4	8,1
13,0 L min ⁻¹	Andrea	23	3,0	24	38	6,5	8,6
	Deb. Plus	21	3,5	26	47	7,0	8,5

Tabela 21. Teores médios de micronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 105 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (mg kg ⁻¹) -----						
0 L min ⁻¹	Andrea	60	12	666	322	156
	Deb. Plus	91	13	650	324	193
3,5 L min ⁻¹	Andrea	80	12	801	366	178
	Deb. Plus	81	14	721	314	199
6,5 L min ⁻¹	Andrea	88	12	571	228	162
	Deb. Plus	74	13	611	294	185
13,0 L min ⁻¹	Andrea	87	12	460	255	173
	Deb. Plus	101	13	574	297	134

Tabela 22. Teores médios de macronutrientes presentes no tecido dos frutos de dois híbridos de tomateiro, aos 105 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----							
0 L min ⁻¹	Andrea	14	2,6	24	1	1,2	1,3
	Deb. Plus	15	2,9	29	1	1,3	1,5
3,5 L min ⁻¹	Andrea	16	3,0	26	1	1,5	1,0
	Deb. Plus	15	2,8	28	1	1,4	1,2
6,5 L min ⁻¹	Andrea	15	3,4	28	1	1,4	1,4
	Deb. Plus	15	3,6	23	1	1,7	1,5
13,0 L min ⁻¹	Andrea	15	3,5	30	1	1,4	1,3
	Deb. Plus	12	3,1	30	1	1,3	1,3

Tabela 23. Teores médios de micronutrientes presentes no tecido dos frutos de dois híbridos de tomateiro, aos 105 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	B	Cu	Fe	Mn	Zn
				(mg kg ⁻¹)		
0 L min ⁻¹	Andrea	9	3	27	7	14
	Deb. Plus	12	3	26	7	13
3,5 L min ⁻¹	Andrea	11	2	20	10	13
	Deb. Plus	10	4	30	12	15
6,5 L min ⁻¹	Andrea	11	2	22	6	12
	Deb. Plus	12	4	32	9	15
13,0 L min ⁻¹	Andrea	13	4	21	10	14
	Deb. Plus	11	3	32	7	14

Aos 105 DAT, foram detectadas diferenças significativas nos teores de potássio e ferro na parte aérea, e nos teores de boro, cobre, ferro, e manganês nos frutos.

No que se refere ao potássio na parte aérea, foi detectado um efeito quadrático das doses de CO₂ aplicadas sobre a deposição deste elemento definido pela equação $y = 20,62175 + 1.70379x - 0.104433x^2$ (Figura 22). Deste modo, níveis de CO₂ até aproximadamente 8,15 L min⁻¹ proporcionaram elevação na absorção de potássio e, a partir desta dose, maiores teores de CO₂ causaram redução na absorção de potássio.

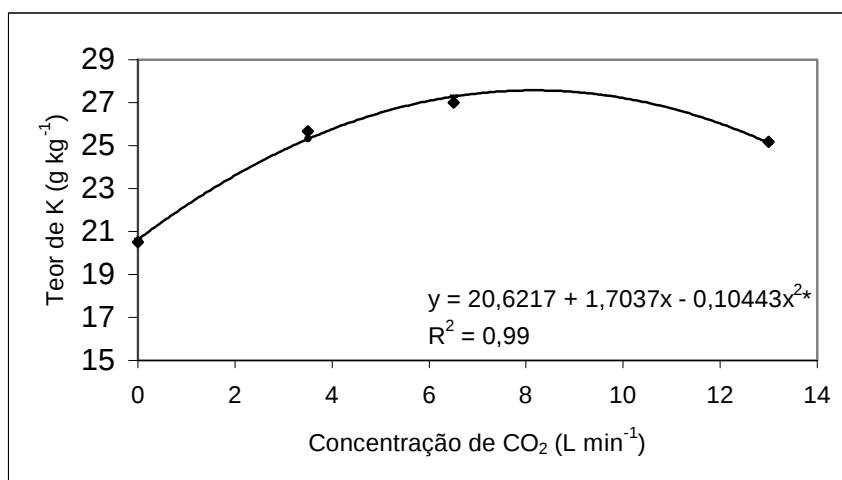


Figura 22. Teor médio de potássio na parte aérea dos híbridos de tomateiro, aos 105 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Os teores de ferro, encontrados na parte aérea dos tomateiros aos 105 DAT, também foram significativamente afetados pelas diferentes doses de CO₂ aplicadas, não sendo verificada diferença entre os híbridos Andrea e Débora Plus (Tabela 24). Assim, a elevação da concentração de CO₂ promoveu uma redução proporcional na absorção de ferro, expressa pela equação $y = 714,2397 - 14,2808x$ (Figura 23).

Tabela 24. Teor de nutrientes na parte aérea de dois híbridos de tomateiro aos 105 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	N	P	K	Ca	Mg	S
			(g kg ⁻¹)			
Andrea	26 a	3,0 a	25a	43 a	7,5 a	9,4a
Débora Plus	25 a	3,1 a	23a	46a	7,3 a	9,0a
C.V. %	16,28	26,44	15,60	18,99	16,37	24,44
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
			(mg kg ⁻¹)			
Andrea	9 a	12 a	624 a	293 a	167 a	
Débora Plus	9 a	13 a	639 a	309a	177a	
C.V. %	21,08	22,22	18,25	22,43	23,61	

Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

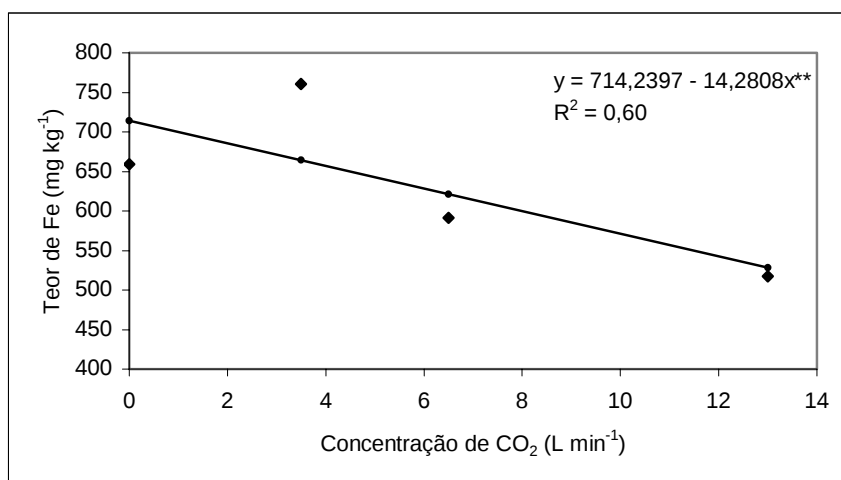


Figura 23. Teor médio de ferro na parte aérea dos híbridos de tomateiro, aos 105 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Um efeito da presença do CO₂ na solução do solo, independentemente da variação do pH, foi apontada por Chang e Loomis, citados por Enoch e Olsen (1993), que constataram redução na absorção de vários nutrientes, inclusive potássio e ferro, quando da adição de CO₂ na água de hidroponia. Tal efeito não foi observado pelos autores na solução controle, mesmo quando da adição de H₂SO₄, o que reduziu o pH em igual magnitude da redução causada pelo CO₂. Similar redução na deposição de ferro na parte aérea do sorgo, em função da administração de CO₂, foi também relatada por Matucha e Mostaghimi, *apud* Enoch e Olsen (1993).

A análise dos teores de nutrientes presentes nos frutos aos 105 DAT evidenciou que a utilização de CO₂ não afetou significativamente a absorção de nenhum dos macronutrientes, em ambos os híbridos estudados (Tabela 25). Entretanto, em relação aos micronutrientes, foram detectados efeitos da interação CO₂ x híbrido para o elemento boro (Tabela 26); efeito de híbrido e de interação CO₂ x híbrido para o elemento cobre (Tabela 27); efeito de híbrido para o elemento ferro (Tabela 25) e de interação CO₂ x híbrido para o elemento manganês (Tabela 28).

Tabela 25. Teor de nutrientes nos frutos de dois híbridos de tomateiro aos 105 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----						
Andrea	15 a	3,1 a	27 a	1a	1,3 a	1,3a
Débora Plus	14 a	3,1a	29a	1a	1,4 a	1,4a
C.V. %	26,31	20,84	13,70	24,99	13,43	14,93
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
----- (mg kg ⁻¹) -----						
Andrea	11a	2 b	22 b	8 a	13 a	
Débora Plus	11a	3 a	29 a	9 a	14 a	
C.V. %	10,82	23,93	24,91	18,05	15,29	

Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Para o elemento boro, o desdobramento da interação CO₂ x híbrido indicou que, no grupo controle (sem adição de CO₂), o híbrido Andrea apresentou menores teores do nutriente quando comparado com o híbrido Débora Plus (Tabela 26), sendo que a elevação nos teores de CO₂ implicou em aumento na absorção deste elemento pelo híbrido Andrea, expresso pela equação $y = 9.837443 + 0.2456x$ (Figura 24).

Tabela 26. Teor médio de boro nos tecidos de frutos dois híbridos de tomateiro aos 105 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	Concentração de CO ₂ (L min ⁻¹)			
	0	3,5	6,4	13,0
Andrea	9 b	11 a	11 a	13 a
Débora Plus	12 a	10 a	12 a	11 a
C.V. %	11,82			

Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

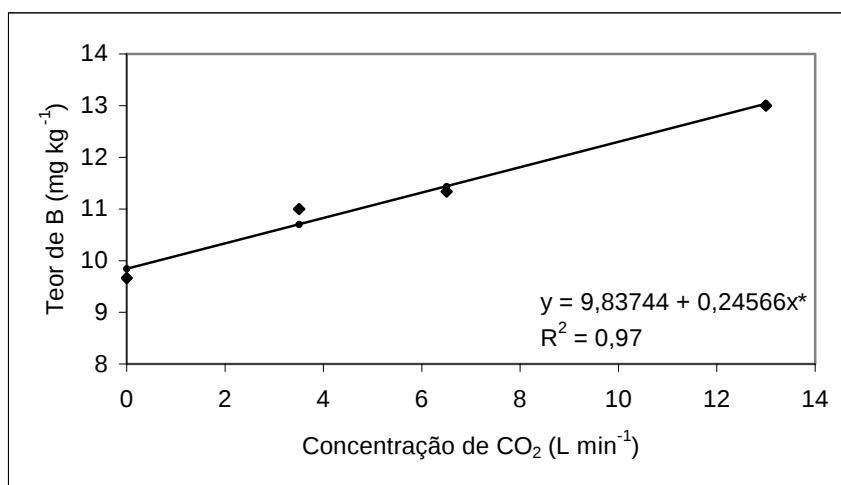


Figura 24. Teor médio de boro nos tecidos de frutos do Andrea, aos 105 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Para o elemento cobre, observou-se, através do teste Tukey (Tabela 27), que o híbrido Andrea apresentou menores teores que o híbrido Débora Plus, notadamente nas concentrações de 3,5 e 6,5 L min⁻¹ de CO₂. O efeito das doses de CO₂ afetou significativamente apenas a absorção do híbrido Andrea, não sendo constatado efeito de doses para o híbrido Débora Plus. A equação $y = 2,940268 - 0,3384852x + 0,03441052x^2$ exprime o comportamento de absorção de cobre em função das doses de CO₂ (Figura 25).

Tabela 27. Teor médio de cobre nos tecidos de frutos dois híbridos de tomateiro aos 105 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	Concentração de CO ₂ (L min ⁻¹)			
	0	3,5	6,5	13,0
Andrea	3 a	2 b	2 b	4 a
Débora Plus	3 a	4 a	4 a	3 a
C. V. %	24,94			

Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

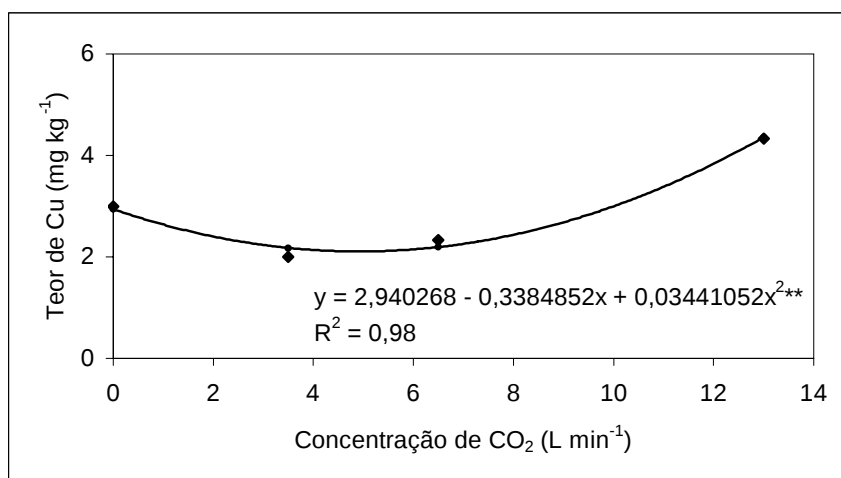


Figura 25. Teor médio de cobre nos tecidos de frutos do Andrea, aos 105 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

O híbrido Andrea apresentou menores teores de ferro nos frutos, quando comparado ao híbrido Débora Plus, independentemente da concentração de CO₂ aplicada na água de irrigação (Tabela 25).

Com relação ao manganês, a Tabela 28 indica que, embora a interação CO₂ x híbrido tenha sido significativa, diferenças na absorção pelos frutos foram observadas somente na concentração de 13,0 L min⁻¹, na qual o híbrido Andrea apresentou teores mais elevados desse elemento.

Tabela 28. Teor médio de manganês nos tecidos de frutos dois híbridos de tomateiro aos 105 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	Concentração de CO ₂ (l min ⁻¹)			
	0	3,5	6,5	13,0
Andrea	7 a	10 a	6 a	10 a
Débora Plus	7 a	12 a	9 a	7 b
C.V. %	18,05			

Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme pode-se depreender do exposto acima, neste estágio (105 DAT) as principais diferenças observadas em relação aos frutos, foram relacionadas à absorção de micronutrientes, e ainda, principais efeitos foram observados em função da interação entre

híbridos e doses, evidenciando possíveis diferenças entre a absorção dos micronutrientes dos híbridos Andrea e Débora Plus. Nesse sentido, parece haver uma influência mais acentuada da utilização do CO₂ sobre o híbrido Andrea do que em relação ao híbrido Débora Plus. Tais oscilações provavelmente deverão ser refletidas mais claramente quando do estudo do desempenho de produção dos híbridos Andrea e Débora Plus.

4.5.5 Teores de nutrientes aos 126 DAT fase final de frutificação)

Os teores médios dos macro e micronutrientes encontrados na parte aérea dos tomateiros Andrea e Débora Plus aos 126 DAT, em função das diferentes concentrações de CO₂, são apresentados nas Tabelas 29 e 30 respectivamente, enquanto que os teores de macro e micronutrientes encontrados nos frutos de ambos os híbridos são apresentados nas Tabelas 31 e 32.

Tabela 29. Teores médios de macronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 126 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----							
0 L min ⁻¹	Andrea	17	1,8	18	35	6,1	7,7
	Deb. Plus	17	1,8	16	40	7,2	7,1
3,5 L min ⁻¹	Andrea	19	2,1	17	38	6,2	5,9
	Deb. Plus	20	2,3	21	40	7,1	7,8
6,5 L min ⁻¹	Andrea	20	2,1	21	47	6,1	9,4
	Deb. Plus	22	2,3	26	45	5,5	9,1
13,0 L min ⁻¹	Andrea	17	1,7	20	43	5,1	7,8
	Deb. Plus	16	2,2	22	39	5,5	8,6

Tabela 30. Teores médios de micronutrientes presentes nos tecidos da parte aérea de dois híbridos de tomateiro, aos 126 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (mg kg ⁻¹) -----						
0 L min ⁻¹	Andrea	67	11	672	412	130
	Deb. Plus	72	9	670	482	148
3,5 L min ⁻¹	Andrea	68	11	679	431	95
	Deb. Plus	80	9	610	381	134
6,5 L min ⁻¹	Andrea	89	9	411	293	98
	Deb. Plus	90	9	581	341	86
13,0 L min ⁻¹	Andrea	71	10	612	344	83
	Deb. Plus	81	9	573	323	99

Tabela 31. Teores médios de macronutrientes presentes no tecido dos frutos de dois híbridos de tomateiro, aos 126 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----							
0 L min ⁻¹	Andrea	16	2,8	25	1	1,5	1,5
	Deb. Plus	14	2,3	24	1	1,3	1,4
3,5 L min ⁻¹	Andrea	15	3,4	26	1	1,3	1,4
	Deb. Plus	15	2,9	28	1	1,4	1,3
6,5 L min ⁻¹	Andrea	14	3,5	28	1	1,3	1,4
	Deb. Plus	14	2,6	30	1	1,4	1,6
13,0 L min ⁻¹	Andrea	15	3,3	28	1	1,4	1,4
	Deb. Plus	13	2,6	30	1	1,4	1,4

Tabela 32. Teores médios de micronutrientes presentes no tecido dos frutos de dois híbridos de tomateiro, aos 126 dias após o transplante, em função da aplicação de água carbonatada via sistema de irrigação por gotejo. São Manuel-SP, 2003.

Concentração de CO ₂	Híbrido	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (mg kg ⁻¹) -----						
0 L min ⁻¹	Andrea	10	3	26	12	17
	Deb. Plus	10	2	17	10	12
3,5 L min ⁻¹	Andrea	10	3	34	11	15
	Deb. Plus	9	2	19	9	12
6,5 L min ⁻¹	Andrea	10	3	28	11	15
	Deb. Plus	11	3	24	6	10
13,0 L min ⁻¹	Andrea	13	3	30	11	14
	Deb. Plus	12	2	13	7	11

A análise estatística realizada neste estágio indicou que, para a parte aérea, foram detectados efeitos das doses de CO₂ sobre a absorção de cálcio; não ocorreram diferenças entre os híbridos para a absorção dos nutrientes (Tabela 33).

Tabela 33. Teor de nutrientes na parte aérea de dois híbridos de tomateiro aos 126 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----						
Andrea	18	1,9	19	41	5,9	7,7
Débora Plus	18	2,1	21	41	6,3	8,1
C.V. %	15,51	25,59	18,78	11,02	19,27	13,78
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
----- (mg kg ⁻¹) -----						
Andrea	7	10	593	370	97	
Débora Plus	8	9	609	382	106	
C.V. %	18,72	21,21	10,85	24,75	25,91	

Os teores médios de cálcio, encontrados na parte aérea, apresentaram variações em função das doses de CO₂ aplicadas na água de irrigação, independentemente do híbrido estudado. Tal efeito foi expresso pela equação $y = 37.09737 + 1.791085x - 0.1107431x^2$ (Figura 26), sendo o ponto de máxima obtido ao nível estimado de 8,1 L min⁻¹. O aumento do CO₂ levando a uma redução na absorção de cálcio por plantas maduras foi também relatado por D`andria et al. (1993), em plantas de tomate, que atribuíram tal redução a um possível

efeito anti-senescência produzido pelo CO₂, uma vez que a deposição aumentada de cálcio nas folhas é um claro indício de senescência. De acordo com Enoch e Olesen (1993), vários sistemas enzimáticos associados à abscisão e senescência são influenciados pelo etileno e que o CO₂ poderia, de alguma forma, bloquear tais efeitos fisiológicos do etileno devido a competição pelo mesmo sítio de absorção.

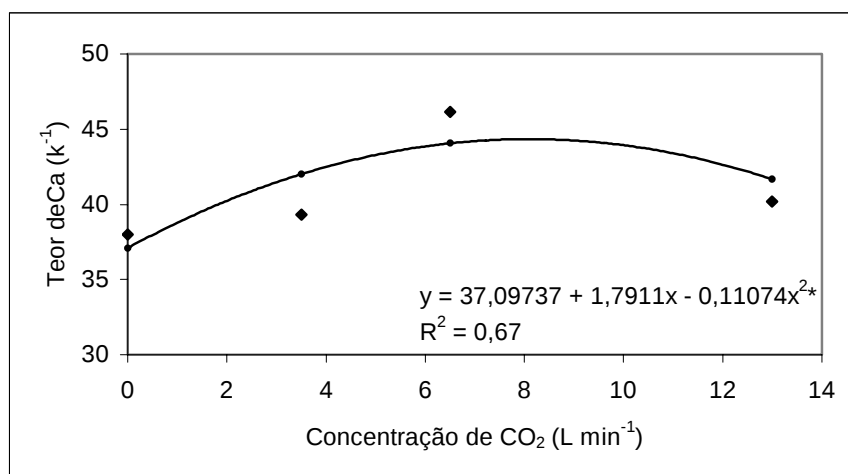


Figura 26. Teor médio de cálcio nos tecidos da parte aérea dos híbridos, aos 126 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003.

Diferença estatística significativa nos frutos foi também detectado para o micronutriente cobre, quando se constatou apenas efeito de híbrido, independentemente da dose de CO₂ estudada (Tabela 34). Nesse sentido, o híbrido Andrea apresentou teor médio de cobre de 3 mg kg⁻¹ que foi significativamente superior ($P < 0,05$) ao teor médio de cobre observado no híbrido Débora Plus (2 mg kg⁻¹). Os elementos ferro, manganês e zinco também tiveram sua absorção afetada apenas em função dos híbridos, não sendo constatadas diferenças em função das doses de CO₂ aplicadas. Os teores de ferro, manganês e zinco presentes no híbrido Andrea foram significativamente superiores ($P < 0,05$) aos teores encontrados para o híbrido Débora Plus, conforme ilustrado na Tabela 34.

A análise de nutrientes absorvidos e depositados nos tecidos dos frutos aos 126 DAT, em função da aplicação das doses de CO₂ e dos híbridos estudados, indica que somente foram detectados efeitos sobre a absorção de micronutrientes, notadamente em função dos híbridos.

Tabela 34. Teor de nutrientes nos frutos de dois híbridos de tomateiro aos 126 dias após o transplante. São Manuel-SP, 2003.

Híbridos	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹) -----					
Andrea	15 a	3,2 a	27 a	1 a	1,3 a	1,4 a
Débora Plus	14 a	2,6 a	28 a	1 a	1,3 a	1,4 a
C.V. %	10,89	13,68	5,26	12,65	5,73	9,73
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	----- (mg kg ⁻¹) -----					
Andrea	11 a	3 a	30 a	11 a	15 a	
Débora Plus	10 a	2 b	18 b	8 b	11 b	
C.V. %	9,50	23,82	24,82	22,01	11,98	

* Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade.

Para o elemento boro, absorvido em sua forma neutra H₃BO₄, constatou-se efeito significativo linear e crescente em função da elevação do CO₂ contido na água de irrigação, independentemente do híbrido estudado, expresso pela equação $y = 9,821461 + 0,1977169x$ (Figura 27), indicando que a máxima incorporação de boro, nesse estágio fisiológico, ocorreu na concentração de 13,0 L min⁻¹.

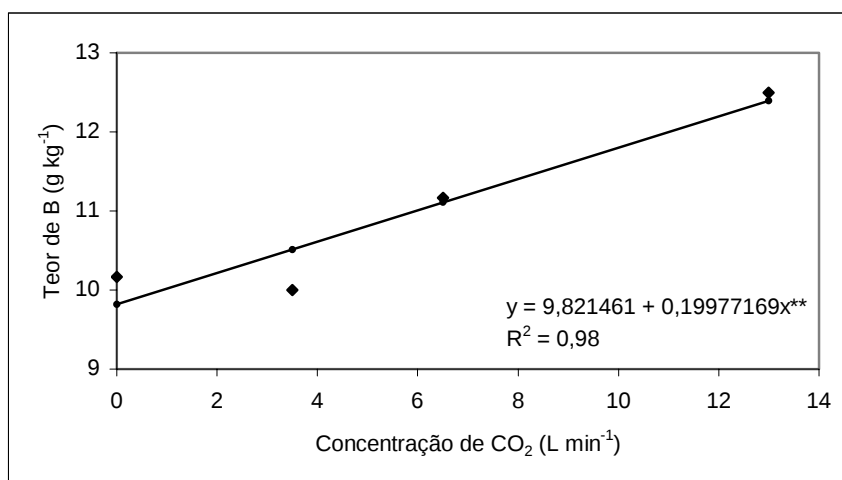


Figura 27. Teor médio de boro nos tecidos dos frutos dos híbridos, aos 126 DAT, em função da aplicação de diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação. São Manuel-SP, 2003

Vários autores têm apresentado diferentes resultados sobre os efeitos da utilização de CO₂ na água de irrigação e seus efeitos sobre a absorção de nutrientes pela plantas.

Embora não exista um consenso nem tampouco um padrão bastante claro dos efeitos dessa prática, muitas evidências têm levado os pesquisadores a detectarem uma ação multifatorial da presença de CO₂ na solução do solo. Nesse sentido, Enoch e Olesen (1993), a partir de realização de uma extensa revisão sobre o tema, apontam as seguintes ações do CO₂ adicionado á rizosfera:

- 1) Alterações nos teores de CO₂ e O₂ presentes no solo podem afetar a dinâmica de ação das bactérias dos gêneros nitrosonomas e nitrobacter, afetando diretamente o processo de nitrificação e absorção de nitrogênio.
- 2) Alterações no pH, mesmo que por pequenos períodos, principalmente em solos alcalinos, poderiam alterar a solubilidade de alguns sais, notadamente os de cálcio e fósforo, promovendo maior disponibilização destes elementos para a planta.
- 3) O CO₂ exerce um importante efeito antagônico ou mesmo bloqueador da atividade do etileno, podendo desta forma diminuir a senescência, quando

fornecido em maiores concentrações, atuando, de certo modo, na competição pelos mesmos sítios de ligação do etileno.

Ainda segundo estes autores, os mesmos fatores que poderiam contribuir para a melhora no desempenho de produção a partir do emprego de CO₂ poderiam também, em função de vários fatores tais como dose, método de aplicação, variedade utilizada e etc, contribuir para diminuição no desempenho e pior absorção. Assim, teores elevados de CO₂ poderiam inibir a ação de bactérias, diminuindo a absorção de nitrogênio. A redução do pH para níveis muito baixos ou a solubilização excessiva dos nutrientes e conseqüente lixiviação destes poderiam causar respostas negativas à aplicação de CO₂.

Uma vez que foram observadas alterações na assimilação de vários nutrientes, na parte aérea e nos frutos dos híbridos estudados, e ainda considerando-se que vários desses efeitos expressaram-se por equações quadráticas, pode-se inferir que o CO₂ efetivamente afeta a absorção de nutrientes pelas plantas, devendo ser a definição da concentração ideal de fornecimento de CO₂ às plantas objeto de mais estudos. Entretanto, as evidências obtidas no presente experimento indicam que, possivelmente, a concentração variando entre 6,0 a 8,0 L de CO₂ min⁻¹ possam levar aos melhores resultados de absorção.

4.6 Componentes de produção.

Não foi observada, através da comparação de médias pelo teste de Tukey (5%), diferença significativa entre os híbridos para as características: número total de frutos e número de frutos comerciais. Entretanto, houve diferença significativa para produção total (6,200 e 4,370kg m⁻², respectivamente para Débora Plus e Andrea) e produção comercial (3,390 e 1,831kg m⁻², respectivamente para Débora Plus e Andrea). Este fato pode ser explicado não pelo maior número de frutos produzidos, que não diferiu estatisticamente, mas pela maior massa alcançada pelos frutos do híbrido Débora Plus, em relação aos frutos do híbrido Andrea (Tabela 35).

Tabela 35. Médias de número de frutos totais (NFT), número de frutos comerciais (NFC), produção total (PT), produção comercial (PC) e massa média de frutos comerciais (MMFC), de dois híbridos de tomateiro. São Manuel=SP, 2003.

Híbridos	NFT	NFC	PT (kg m ⁻²)	PC (kg m ⁻²)	MMFC (g)
Andrea	65,7 a	24,1 a	4,37 b	1,83 b	75,26 b
Débora Plus	66,0 a	23,6 a	6,20 a	2,39 a	143,13 a
C.V. %	8,31	15,95	18,29	26,47	23,02

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Com relação às doses do gás aplicado via água de irrigação, não houve interação entre os fatores CO₂ x híbrido; deste modo, a regressão polinomial foi realizada conjuntamente para os dois híbridos testados. As médias dos componentes de produção foram submetidas ao teste F (5%), sendo que este se mostrou significativo apenas para as variáveis de produção total, produção comercial e número de frutos comerciais.

Para a variável produção total, através da análise de regressão polinomial, observou-se um efeito quadrático expresso pela equação $y = 4,617976 + 0,3477258x - 0,02379714x^2$, onde a máxima produção foi atingida com a concentração de 7,30 L min⁻¹ na água de irrigação. A partir desta concentração, houve um declínio na produção, conforme mostra a Figura 28. D'Andria et al. (1990) também verificaram aumento na produção total de tomate de 84 para 97 t ha⁻¹, com aplicação de CO₂ via água de irrigação. Entretanto, os autores atribuem este aumento de produção ao maior tamanho dos frutos e não ao maior número de frutos, diferentemente do observado no presente estudo. A baixa produtividade obtida neste experimento pode ser explicada pela ocorrência, no período de floração, de umidade relativa do ar muito baixa, chegando a 40 % (Figura 2). Este fator climático pode ter diminuído a viabilidade dos grãos de pólen, das flores dos tomateiros, o que resultou em abscisão e frutos de pouco peso.

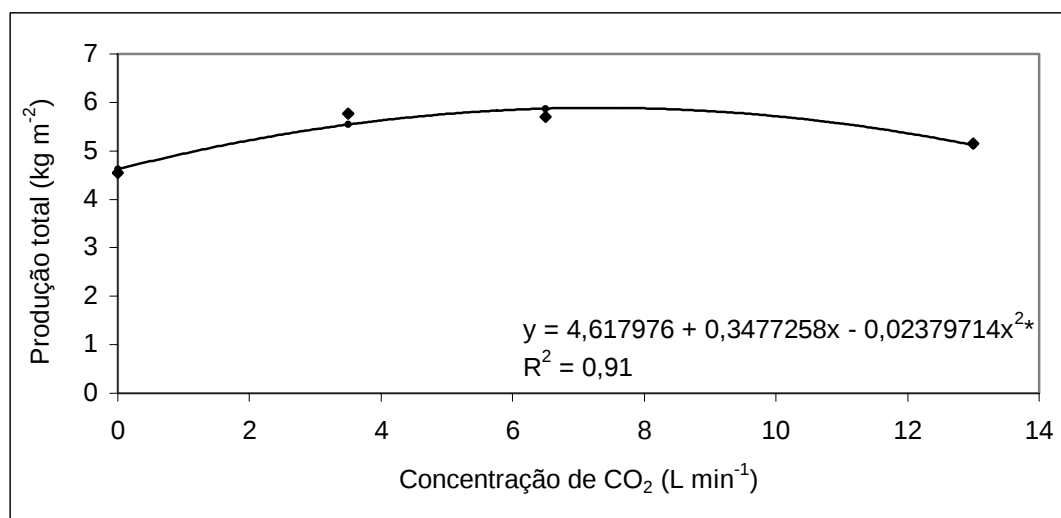


Figura 28. Produção total (kg m⁻²) de dois híbridos de tomateiro em função da aplicação de água carbonatada em diferentes concentrações. São Manuel-SP, 2003.

Com relação à produção comercial, a aplicação das diferentes concentrações de CO₂ na água de irrigação teve um efeito quadrático, descrito pela equação $y = 1,543429 + 0,312985x - 0,0222272x^2$. Assim como na produção total, o aumento da concentração de CO₂ promoveu uma elevação na produção comercial até um certo ponto (7,04 L min⁻¹), a partir do qual passou a ter um efeito negativo (Figura 29).

Também a relação produção total x comercial foi melhorada. Sem adição de CO₂ a porcentagem de frutos comerciais em relação à produção total foi de aproximadamente 30%, com adição de 3,5 e 6,5 L min⁻¹ de CO₂ esta proporção aumentou respectivamente para 43 e 50%, decaindo para 34% quando se aplicou a dose 3,0 L min⁻¹ de CO₂.

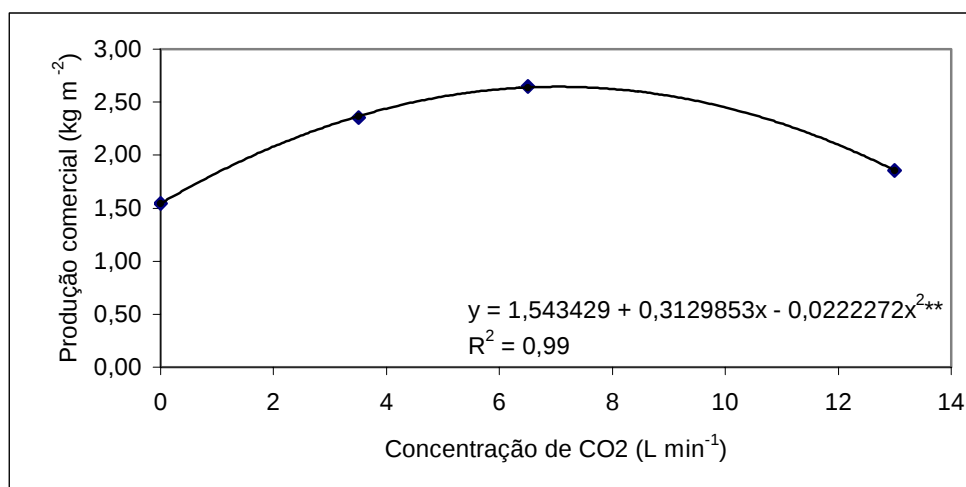


Figura 29. Produção comercial (kg m⁻²) de dois híbridos de tomateiro em função da aplicação de água carbonatada em diferentes concentrações. São Manuel-SP, 2003.

O número de frutos comerciais também sofreu influência da concentração de CO₂, conforme equação quadrática $y = 18,6895 + 2,9022x - 0,2054x^2$. Até a concentração de 7,37 L min⁻¹, houve um aumento no número de frutos comerciais produzidos, com diminuição a partir desta dose (Figura 30).

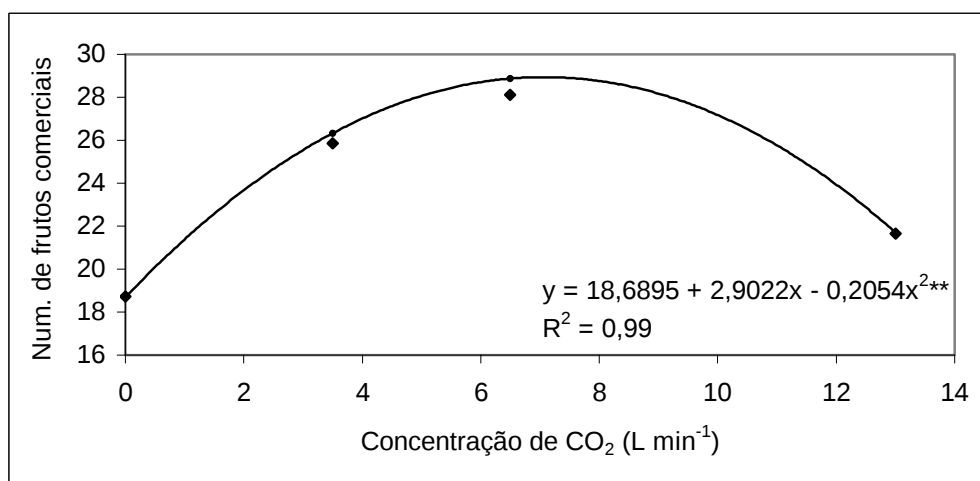


Figura 30. Número de frutos comerciais de dois híbridos de tomateiro em função da aplicação de água carbonatada em diferentes concentrações. São Manuel-SP, 2003.

Assim como para área foliar, as características de produção também demonstraram efeito quadrático da aplicação de CO₂ na água de irrigação. Sendo assim, pode-se dizer que o aumento na produtividade pode ter sido decorrente do aumento da área foliar e no maior teor de nutrientes observados nos tratamentos que receberam água carbonatada.

5 Considerações finais

A aplicação da água enriquecida com CO₂ proporcionou aumento na área foliar. Este efeito, expresso por equações quadráticas, foi mais pronunciado no estágio de florescimento e início de frutificação (63 e 84 dias após o transplante respectivamente).

O efeito da aplicação de CO₂ na água de irrigação sobre os teores nutricionais do tomateiro também foi mais pronunciado nos estádios de florescimento e frutificação, o que corresponde à fase de maior absorção de nutrientes, indicando que as épocas mais propícias para aplicação de água carbonatada devem corresponder a estes estádios fisiológicos da planta.

De um modo geral, as respostas obtidas com aplicação de água enriquecida com CO₂ foram expressas por equações quadráticas, com ponto de inflexão ao redor de 7,5 L min⁻¹. As altas concentrações aplicadas provavelmente favoreceram a dissolução dos minerais presentes no solo e estes podem ter sido lixiviados pela água da irrigação.

Como se verifica na revisão de literatura, são encontrados resultados positivos, ausências de resultados e até efeitos negativos do fornecimento de dióxido de carbono às plantas via água de irrigação. Isto provavelmente se deve às diferenças varietais, doses de CO₂, método e época de aplicação, dentre outros fatores, como nutrição, fornecimento de água e condições climáticas. Sendo assim, muito ainda pode ser feito para elucidar vantagens e/ou desvantagens da aplicação do dióxido de carbono, via água de irrigação, visando aumentos em produtividade e em qualidade dos produtos.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e para as condições de solo e de clima em que foi conduzido o experimento, pode-se concluir que:

1. A aplicação de água carbonatada, via sistema de irrigação por gotejamento, não proporcionou aumento na concentração de CO_2 na atmosfera, sendo assim, não promove aumento na taxa assimilatória de CO_2 .
2. Os teores nutricionais dos híbridos testados foram alterados devido à aplicação de água carbonatada, principalmente a absorção do íon potássio. Estas alterações são devidas, entre outros fatores, as alterações no pH do solo. Os valores de pH da solução do solo foram reduzidos quando da aplicação de água carbonatada.
3. Verificou-se que, mesmo entre indivíduos da mesma espécie, obteve-se diferentes respostas à aplicação de água carbonatada. Sendo que o híbrido Andrea respondeu mais intensamente as alterações de concentração de CO_2 na água de irrigação.
4. O aumento da concentração de CO_2 na água proporcionou aumento na produção total, produção comercial e número de frutos comerciais de tomate, sendo a melhor dose calculada foi de $7,30 \text{ L min}^{-1}$.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDEL, J., BOS, W.V., ERNEST, W. An experimental study on two populations of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. (= *Epilobium angustifolium* L.) occurring on contrasting soils, with particular reference to the response to bicarbonate. *New Phytol.*, v.81, p.763-72, 1978.

ANDERSON, M.P., HEICHEL, G.H., VANCE, C.P. Nonphotosynthetic CO₂ fixation by alfafa (*Medicago sativa* L.) roots and nodules. *Plant Physiol.*, v.85, 283-9, 1987.

ANDRIOLO, J.L. Fluxo de carbono na planta. In: __. *Fisiologia das culturas protegidas*. Santa Maria:UFSM, 1999. p.13-46.

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: Editora Arcos, 2003.

ARTECA, R.N., POOVAIAH, B.W., SMITH, O.E. Use of high performance liquid chromatography for the determination of endogenous hormone levels in *Solanum tuberosum* L. subjected to carbon dioxide enrichment of root zone. *Plant Physiol.*, v.65, p.1216-19, 1980.

BARON, J.J., GORSKI, S.F. Responses of eggplant to a root environment enriched with CO₂. *HortSci.*, v.21, n.3, p.495-8, 1986.

BASILE, G., ARIENZO, M., ZENA, A. Soil nutrient mobility in response to irrigation with carbon dioxide enriched water. *Soil Science and Plant Analysis*, v.24, n.11, p.1183-195, 1993.

BENINCASA, M. M. P. *Análise de crescimento d plantas (noções básicas)*. Jaboticabal, FUNEP, 1988. 42 p.

BEN-ZIONI, A., VAADIA, Y., LIPS, S. H. Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products of the shoots. *Physiolo. Plant.*, v.24, p. 288-90, 1971.

BIALCZYK, J., LECHOWSKI, Z, LIBIK, A. Fruting of tomato cultivated on medium enriched with bicarbonate. *Journal of Plant Nutrition*, v.19, n.2, p.305-321, 1996.

BIALCZYK, J., LECHOWSKI, Z. Chemical composition of xylem sap of tomato grown on bicarbonate containing medium. *J. Plant Nutr.*, v.18, p.2005-21, 1995.

BOWES, G. Facing the inevitable: plants and increasing atmospheric CO₂. *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.*, v.44, p.309-32, 1993.

BRAVDO, B.A. Effect of CO₂ enrichment on photosynthesis of C3 plants. In: *Physiology, yield and economics. Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops*, 13-27, 1986.

CARARO, D.C. *Efeito de diferentes lâminas de água na presença e ausência de CO₂ injetado na água de irrigação sobre a cultura do tomate (Lycopersicon esculentum Mill) Cultivado em estufa*. Piracicaba, 2000. 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Engenharia Rural, ESAL/USP.

CARDOSO, S.S. *Doses de CO₂ e de potássio aplicadas através da irrigação no meloeiro rendilhado (Cucumis melo L.) cultivado em ambiente protegido*. Piracicaba, 2002. 101p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP.

CARNEIRO JÚNIO, A. G., GOTO, R., BRANCO, R. B. F. , GUIMARÃES, V. F., RODRIGUES, J. D. Efeito da aplicação de água carbonatada, via sistema de gotejadores, na produtividade de duas cultivares de alface americana. *Horticultura Brasileira*, v. 21, n. 2, p. 281. 2003 (suplemento).

COSTA, P. C. *Relações N:K:Ca na qualidade de frutos de tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill.) híbrido Momotaro, em cultivo hidropônico*. Botucatu, 1999. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

CRAMER, M.D. The influence of enriched root-zone CO₂ concentrations on growth, nitrogen metabolism and root HCO₃⁻ incorporation in salinity stressed *Lycopersicon esculentum* Mill.. *J. Blaustein Inst. for Desert Res.*, v.30, p.105-18, 1995.

CRAMER, M.D., LIPS, S.H. Enriched rhizosphere CO₂ concentrations can ameliorate the influence of salinity on hydroponically grown tomato plants. *Physiol. Plant.*, v.94, p.425-32, 1995.

CRAMER, M.D., SAVIDOV, N.A. LIPS, S.H. The influence of enriched rhizosphere CO₂ on N uptake and metabolism in wild-type and NR-deficient barley plants. *Physiol. Plant.*, v.97, p.47-54, 1996.

D'ANDRIA, R.; NOVERO, R.; SMITH, D.H.; SHANAHAN, J.F.; MOORE, F.D. Drip irrigation of tomato using carbonated water and mulch in Colorado. *Acta Hortic.*, v.44, p.179-85, 1990.

DRAKE, B.G., GONZÁLEZ-MELER, M.A., LONG, S.P. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂? *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.*, v.48, p.609-39, 1997.

DURÃO, P.L.; GALVÃO, A.C. Gás carbônico em irrigação: tecnologia de ponta para aumentar a produtividade e qualidade dos produtos agropecuários. *Ciência Hoje*, v.19, n.110, p.12-5, 1995.

ENOCH, H.Z., OLESEN, J.M. Tansley Review No. 54. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. *New Phytol.*, v.125, p.249-58, 1993.

ESPINDOLA, C.R.; TOSIN, W.A.C.; PACCOLA, A.A. Levantamento pedológico da Fazenda Experimental São Manuel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 14, 1973, Santa Maria, 650-1.

FAYAD, J. A. *Absorção de nutrientes, crescimento e produção do tomateiro cultivado em condições de campo e de estufa*. Viçosa, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

FURLAN, R.A., REZENDE, F.C., ALVES, D.R.B., FOLEGATTI, M.V. Lâmina de irrigação e aplicação de CO₂ na produção de pimentão cv. Mayata, em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, v.20, n.4, p. 547-50, 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*, v.19, n.1, p.25-29, 2001.

GAMMON, R.H., SUNDQUIST, E.T., FRASER, P.J. History of carbon dioxide in the atmosphere. In: TRABALKA, J.R. *Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle*. Springfield: NTIS, 1985. p.25-62.

GAO, Z.F., LIPS, S.H. Effects of increasing inorganic carbon supply to roots on net nitrate uptake and assimilation in tomato seedlings. *Physiol. Plant.*, v.101, p.206-12, 1997.

GIJZEN, H.; TEM CATE, J.A. Prediction of the response of greenhouse crop photosynthesis to environmental factors by integration of physical and biochemical models. *Acta Hortic.*, v.229, p.251-8, 1988.

GOMES, F.P. *Curso de Estatística Experimental*, 7 ed. Piracicaba: Editora Nobel, 1977.

GOMES, T. M. *Efeito do CO₂ aplicado na água de irrigação e no ambiente na cultura da alface*. Piracicaba: 2001. 83 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

HAAG, H. P., OLIVEIRA, G. D., BARBOSA, V., SILVA, J. M. Nutrição mineral de hortaliças. Marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro destinado ao processamento industrial. *An. Esc. Sup. Agric. – Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo*, v.35, p. 243-70, 1978.

HEIJ, G.; UFFELEN, J.A.M. Effects of CO₂ concentration on growth of glasshouse cucumber. *Acta Hortic.*, v.162, p.29-36, 1984.

IKEDA, M., MIZOGUCHI, K., YAMAKAWA, T. Stimulation of dark carbon fixation in rice and tomato roots by application of ammonium nitrogen. *Soil Sci. Plant Nutr.*, v.38, p.315-22, 1992.

IBRAIN, A. Response of plant to irrigation with CO₂-enriched water. *Acta Horticulturae*, v. 323, p. 205-14, 1992.

LEMON, E.R. CO₂ and plants. *AAAS Select Symposium*, 84. Westview Press, Boulder, CO, 1983.

LETARD, M. Use of CO₂ in the greenhouse: plant behavior and CO₂ consumption. *Infos-Paris*, v.123, p.32-7, 1996.

LUCAS, W.J. Photosynthetic assimilation of exogenous HCO₃⁻ by aquatic plants. *Annu. Rev. plant Physiol.*, v.34, p.71-104, 1983.

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

MADSEN, E. The effect of CO₂ concentration on development and dry matter production in young tomato plants. *Acta Agr. Scand.*, v.23, n.4, p.235-40, 1973.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MARTINOIA, E., RENTSCH, D. Malate compartmentation-responses to a complex metabolism. *Plant Mol. Boil.*, v.45, p.447-67, 1994.

MCCLURE, P.R., KOCHIAN, L.V., SPANSWICK, R.M., SHAFF, J.E. Evidence for cotransport of nitrate and protons in maize roots. I. Effects of nitrate on the membrane potential. *Plant physiol.*, v.93, p.281-9, 1990.

MILLER, G.W., SHIGEMATSU, A., WELKIE, G.W., MOTOJI, N., SZLEK, M. Potassium effect on iron stress in tomato. II. The effect of root carbon dioxide fixation and organic acid formation. *J. Plant Nutr.*, v.13, p.1355-70, 1990.

MINAMI, K., HAAG, H. P. *O tomateiro*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 397p.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., BLOCH, M.F.M. Análise química de tecido vegetal. *Circ. IAPAR*, n.24, p.1-17, 1992.

MORIOKA, K. HISATOMI, T. A study on the standardization of environmental control for increasing fruit production in crops in vinyl houses. *Bulletin of the Nara Agric. Exp. Station*, v.5, p.12-7, 1973.

MORTENSEN, M.L. Review: CO₂ enrichment in greenhouse. Crop responses. *Sci. Hortic.*, v.33, p.1-25, 1987.

NEDERHOFF, E.M. Dynamic optimization of the CO₂ concentration in greenhouse: Na experiment with cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Acta Hortic.*, v.229, p.341-48, 1988.

NEDERHOFF, E.M.; SCHAPENDONCK, A.H.C.M. Effects of environmental conditions on growth and production of cucumber; comparison between empirical and simulation data. *Acta Hortic.*, v.174, p.251-8, 1985.

NEYRA, C.A., HAGERMAN, R.H. Relationships between carbon dioxide, malate, and nitrate accumulation and reduction in corn (*Zea mays* L.) seedlings. *Plant Physiol.*, v.58, p.726-30, 1976.

NILSEN, S., HOVLAND, K., DONS, C., SLETTEN, S.P. Effect of CO₂ enrichment on photosynthesis, growth and yield of tomato. *Sci. Hortic.*, v.20, p.1-14, 1983.

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.

PEET, M.M.; WILLTS, D.H. Greenhouse CO₂ enrichment alternatives: Effects of increasing concentration or duration of enrichment on cucumber yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* v.112, n.2, p.236-41, 1987.

PINTO, J.M., BOTREL, T.A., MACHADO, E.C., FEITOSA FILHO, J. C. Aplicação de CO₂ via água de irrigação em relação à produtividade do meloeiro. *Sci. Agric.* V.58, n.1, p.33-38, 2001.

REBELLO, A. de L. A questão da concentração de CO₂ na atmosfera. *Ciência e Cultura*, 38 (5), p. 872 – 5, 1986. REINERT, R.A.; EASON, G.; BARTON, J. Growth and fruiting of tomato as influenced by elevated carbon dioxide and ozone. *New Phytol.*, v.137, n.3, p.411-20, 1986.

SLACK, G.; HAND, D.W. The effect of winter and summer CO₂ enrichment on the growth and fruit of glasshouse cucumber. *J. Hort. Sci.*, v.60, n.4, p.507-16, 1985.

SMITH, F. W. Interpretation of plant analysis. In: REUTER, D. J., ROBINSON, J. B. *Plant analysis*. Melbourne: Inkata Press, 1986. p. 1-12.

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(7), p. 1439-44, 1995.

TAKAHASHI, H. W. Nutrição e adubação de tomateiro estaqueado. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. *Nutrição e adubação de hortaliças*. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 301-22.

TOURAINÉ, B., MULLER, B., GRIGNON, C. Effect of phloem-translocated malate on NO_3^- uptake by roots of intact soybean plants. *Plant Physiol.*, v.99, p.1118-23, 1992.

VAN DER MERWE, C.A.V.D., CRAMER, M.D. Effect of enriched rhizosphere carbon dioxide on nitrate and ammonium uptake in hydroponically grown tomato plants. *Plant and Soil*, v.221, p.5-11, 2000.

VAPAAVUORI, E.M., PELKONEN, P. HCO_3^- uptake through the roots and its effect on the productivity of willow cuttings. *Plant, Cell and Environ.*, v.8, p.531-4, 1985.

VUORINEN, A.H., VAPPAVUORI, E.M., RAATIKAINEN, O., LAPINJOKI, S. Metabolism of inorganic carbon taken up by roots in *Salix* plants. *J. Exp. Bot.*, v.43, p.789-95, 1992.

WHITNEY, D. A., COPE, J. T., WELCH, L. F. Prescribing soil and crop nutrient needs. In: ENGELSTAD, O. P. (Ed.). *Fertilizer technology and use*. 3. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1985. p. 25-52.

WITTWER, S.H. Rising atmospheric CO_2 and crop productivity. *HortScience*, 18(5), 667 – 73, 1992.