**DOSES DE CO₂ E DE POTÁSSIO APLICADAS ATRAVÉS DA
IRRIGAÇÃO NO MELOEIRO RENDILHADO (*Cucumis melo* L.)
CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

SILVANA DA SILVA CARDOSO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ ANTONIO FRIZZONE**

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de Concentração:
Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Julho - 2002

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Cardoso, Silvana da Silva

Doses de CO₂ e de potássio aplicadas através da irrigação no meloeiro rendilhado (*Cucumis melo* L.) cultivado em ambiente protegido / Silvana da Silva Cardoso. - - Piracicaba, 2002.

101p. : il.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.
Bibliografia.

1. Dióxido de carbono 2. Estufas 3. Fertirrigação 4. Irrigação por gotejamento
5. Melão 6. Potássio I. Título

CDD 635.61

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor"

Data de depósito junto à CPG/ESALQ

10 / 07 / 2002

A DEUS pela VIDA e pelas constantes oportunidades de aprendizado

AGRADEÇO

À minha querida Família pelo amor e apoio incondicional:

Meu pai Domingos Floriano Cardoso e

Minha mãe Maria de Lourdes da Silva Cardoso (*in memorian*)

Meus irmãos Sandra, Robson e Adriana.

Meus cunhados Roberto, Maria Nina e André

Ao meu querido tio José da Silva Reis (*in memorian*)

DEDICO

Aos leitores dedicados à agricultura

OFEREÇO

**"A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará a seu tamanho original..."**

Albert Einsten.

AGRADECIMENTOS

À Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização desse curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão da bolsa de estudo e pelo financiamento da pesquisa.

Ao Professor Dr. José Antônio Frizzzone pela amizade, conselhos, críticas, e pela dedicação dispensada na realização do experimento e na redação dessa Tese.

Ao colega e amigo Valdemício Ferreira de Sousa pelas suas valiosas sugestões, desde a concepção do projeto desse trabalho; críticas; entendimento; amizade e apoio durante todo o curso. Por incentivar aos meus ideais mais elevados.

Aos professores do Curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem: Dr. José Antônio Frizzzone, Dr. Sérgio Nascimento Duarte; Dr. Tarlei Arriel Botrel, Dr. Rubens Duarte Coelho, Dr. Décio Cruciani e aos professores: Dr. Durval Dourado Neto, Dr. Hans Heij, Dr. José Enedi Boaretto, Dr. Antonio Roque Dechen, Dr. Quirino Augusto de C. Carmelo, Dr. Antônio Carlos Gonçalves, pelos ensinamentos.

Aos membros da banca: Pesq. Dr. Valdemício F. Sousa, Eng. Dra. Fátima C. Rezende, Prof. Dr. Tarlei A. Botrel e Prof. Dr. Sérgio Nascimento Duarte, pelas sugestões e críticas ao nosso trabalho.

Aos professores Dr. Durval Dourado Neto, Dr. Rubens Duarte Coelho, Dr. Keigo Minami, Dr. Roberto Lyra Villas Boas, Dr. Paulo César Tavares de Mello, Dr. Jairo Araújo, Dr. Sérgio Gusmão, Dra. Rumi Goto e ao Pesq. Dr. José Maria Pinto pelas informações e sugestões.

Ao Professores Dr. Angelo Jacomino e Dr. Iran José Oliveira da Silva e Dr. Ricardo Oliveira Ferraz pela cessão de instalações e empréstimos de aparelhos.

Aos professores Dr. Décio Barbin e Dr. José Carlos Barbosa (FCAV/UNESP-Jaboticabal) pelas orientações e colaborações na análise estatística dos dados.

Ao Dr. Paulo Roberto Silva Farias pelas sugestões e oportunidades de aprendizado e à amiga Rosa Sulaine Silva Farias pela colaboração.

À colega Cristiani Kano pela dedicação, companheirismo e amizade na condução do experimento.

Aos colegas de Turma 98/II e amigos: Adriana Ramos, Maurício Antônio Coelho Filho e Marcos Antônio Conceição, pela amizade, companheirismo e agradável convívio.

Aos colegas de Curso: Roberto Atarassi, Wellington Araújo, Luís Campeche, Marcelo Novaes, Manoel Navarro, Luís Artur Alvarenga, Francisco Parise e Magalli Tanaka, Eliezer Santurbano, Thales Viana, Ariovaldo Lucas, Caroline Abate, Denis Carraro, Cristina Miranda, Cecília Tojo, Raquel Furlan, Ênio França, Alexandre Xavier, Olívio Soccol, Aderson Soares, Eder Pozzebom, Nicolás Z. Rojas, Nildo Dias, Adriano Soares, Renê Rivera, Edson Almeida e demais colegas pela amizade e cooperação durante o curso.

Aos colegas e amigos Jaenes e Candida Alves, Maria Conceição S. Carvalho, Luciano Shôzo, Francisco Casimiro, José Figueredo, Renata Nitolo, Adriano Diotto, María Basanta, Ana Lúcia Hurtado, Angélica Prael, Francimar Cestari, Valéria Modolo, Vanoli Fronza e Marcelo Miranda.

Aos colegas Telde Natel Custódio e Aline de H. Nunes Maia pela colaboração e sugestões nas análises dos dados. Ao Rafael Vasconcelos e Dr. Gustavo Maia pelo auxílio durante as medidas de trocas gasosas nas plantas de melão.

Aos graduandos do Grupo de Práticas de Irrigação e Drenagem - GPID, Adriano Diotto, Rafael Mingoti, Marcos Vasconcelos, Rafael Arruda, Alex Villa, Ithamar Prada Neto, Matheus Lourenção, Eduardo Bicego, Levy Lobato, Camila Guedes, Vivian Krausi, Paulo Martinez, Vitor Barbosa, André Vertuani e Fernando Bosqueiro.

Aos estagiários Mirelli Santos Maltez e Rodrigo Godoi pela colaboração e amizade.

Ao amigo Dr. Joãodenir Furlan pela atenção, conselhos, sugestões e amizade.

Aos funcionários Gilmar Grigolon, Davilmar Collevati, Antônio Gozzo, Hélio Gomes, Sandra Thompson, Osvaldo Rettore, César Rocha, Vanda Zambello, Juarez Amaral e Áureo Oliveira pela cooperação e convívio amigável.

Aos funcionários da Biblioteca pelo pronto atendimento e pelas sugestões na editoração da tese e correções das referências bibliográficas.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

RESUMO	IX
SUMMARY	XI
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Aspectos da cultura	4
2.2 Dióxido de carbono (CO ₂).....	6
2.2.1 Efeito do CO ₂ nas plantas	8
2.2.2 Efeito do CO ₂ no solo	12
2.3 Fertirrigação	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Caracterização do local do experimento	15
3.2 Estrutura experimental	15
3.3 Tratamentos e delineamento experimental	16
3.4 Monitoramento ambiental.....	20
3.5 Características do solo dos canteiros.....	21
3.6 Preparo das mudas.....	22
3.7 Transplântio das mudas e condução da cultura	23
3.8 Polinização	24
3.9 Irrigação	24
3.9.1 O sistema de irrigação	24
3.9.2 Manejo da irrigação	27
3.10 Fertirrigação	29
3.10.1 O sistema de fertirrigação.....	29
3.10.2 Manejo da Fertirrigação	29
3.10.3 Aplicação de dióxido de carbono	30
3.11 Parâmetros analisados	33
3.11.1 Aspectos Nutricionais	33
3.11.2 Elementos fisiológicos	33

3.11.3 Elementos morfológicos.....	34
3.11.4 Produtividade.....	34
3.11.5 Qualidade dos frutos.....	34
3.11.6 Índice de aproveitamento comercial da produção.....	35
3.11.7 Eficiência de uso de água.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Elementos meteorológicos.....	36
4.2 Manejo da irrigação.....	39
4.3 Manejo da Fertirrigação	42
4.4 Aplicação de CO ₂	43
4.5 Elementos fisiológicos.....	45
4.6 Estado nutricional das plantas.....	50
4.7 Desenvolvimento da planta	57
4.7.1 Ciclo fenológico	57
4.7.2 Variáveis de Crescimento	58
4.7.2.1 Altura da planta.....	58
4.7.2.2 Diâmetro de caule	60
4.7.2.3 Área foliar.....	62
4.8 Aspectos produtivos	66
4.8.1 Número e peso médio dos frutos	67
4.8.1.1 Distribuição de frequência de frutos	67
4.8.2 Produtividade de frutos	71
4.8.2.1 Produtividade total.....	71
4.8.2.2 Produtividade comercial.....	75
4.8.2.3 Produtividade não comercial	78
4.8.3 Índice de aproveitamento comercial da produção	79
4.9 Características físicas dos frutos comerciais.....	81
4.9.1 Diâmetro longitudinal e transversal	81
4.9.2 Espessura e Firmeza da polpa	82
4.10 Características químicas dos frutos comerciais	84
4.11 Eficiência do uso de água	86
5 CONCLUSÕES.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

DOSES DE CO₂ E DE POTÁSSIO APLICADAS ATRAVÉS DA IRRIGAÇÃO NO MELOEIRO RENDILHADO (*Cucumis melo* L.) CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO

Autor: SILVANA DA SILVA CARDOSO

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo de estudar os efeitos da aplicação de dióxido de carbono (CO₂) e de potássio através da irrigação, na cultura do meloeiro rendilhado (*Cucumis melo* L.), híbrido Bônus 2, cultivado em ambiente protegido. Utilizou-se quatro estruturas de proteção de 122,5 m² equipadas com sistemas de irrigação por gotejamento, de fertirrigação e de injeção de CO₂. Mudanças com 19 dias foram transplantadas para canteiros, espaçadas de 1,1 m x 0,3 m e conduzidas tutorada na vertical até 2,0 m de altura. Os tratamentos resultaram de combinações entre as doses de potássio K₁, K₂, K₃ e K₄ (50 kg ha⁻¹; 150 kg ha⁻¹; 300 kg ha⁻¹ e 600 kg ha⁻¹) e as doses aplicadas de dióxido de carbono C₀, C₁, C₂ e C₃ (0,0 kg ha⁻¹ de CO₂; 165,0 kg ha⁻¹ de CO₂; 301,8 kg ha⁻¹ de CO₂ e 460,4 kg ha⁻¹ de CO₂) equivalentes às concentrações, média da atmosfera ($\cong 365 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$); 600 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$; 800 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ e 1000 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$. Avaliou-se a taxa fotossintética, estado nutricional, aspectos produtivos e características de qualidade física e química dos frutos e eficiência de uso da água. A lâmina total de água aplicada durante o ciclo do meloeiro (até os 88 DAT) foi de 321,7 mm. Observou-se relação entre a taxa

fotossintética e o CO_2 aplicado através da irrigação, porém o mesmo não foi observado para a transpiração. Houve maior efeito do CO_2 que do potássio sobre a absorção e a redistribuição de nutrientes no meloeiro, sendo que os macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S) foram mais afetados que os micronutrientes (Fe, Zn). Esse efeito foi mais evidente ao final do ciclo quando se observou temperaturas mais elevadas. O número de frutos comerciais aumentou com doses crescentes de CO_2 e de K_2O , entretanto, o peso médio dos frutos foi afetado apenas pelo potássio. A produtividade total aumentou com as doses de CO_2 e de K_2O , até 60,10 t ha⁻¹ para 341,12 kg ha⁻¹ de K_2O e 267,10 kg ha⁻¹ de CO_2 ; a produtividade comercial aumentou com as doses dos fatores, atingindo o máximo de 55,64 t ha⁻¹ para 347,03 kg ha⁻¹ de K_2O e 311,67 kg ha⁻¹ de CO_2 . O IAC da produção aumentou com as doses de CO_2 e de K_2O , atingindo o maior valor para o tratamento C_2K_3 . A espessura e a firmeza da polpa foram afetadas pelo CO_2 ; diâmetros transversal e longitudinal e a espessura da polpa foram afetados pelo potássio. Houve efeito do CO_2 sobre a acidez total, o teor de sólidos solúveis e o pH da polpa dos frutos, porém não houve efeito do K_2O . A eficiência de uso de água aumentou com doses crescentes de CO_2 até C_2 e com as doses de potássio até K_3 , atingindo o máximo de 19,14 kg m⁻³.

CO₂ AND POTASSIUM DOSES APPLIED BY IRRIGATION IN NET MELON YIELD UNDER GREENHOUSE

Author: SILVANA DA SILVA CARDOSO

Adviser: Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE

SUMMARY

The objective this work was to study the effects of CO₂ and potassium on melon (*Cucumis melo* L.) cv. Bônus 2 plants grown under protected cultivation were submitted to four levels of CO₂ (0.0 kg ha⁻¹ CO₂, 165.0 kg ha⁻¹ CO₂, 301.8 kg ha⁻¹ CO₂, 460.4 kg ha⁻¹ CO₂) and potassium (50 kg ha⁻¹K₂O, 150 kg ha⁻¹K₂O, 300 kg ha⁻¹ K₂O, 600 kg ha⁻¹K₂O) to investigate their effects on growth, development and yield. The CO₂ and potassium were injected in the water distributed by a drip irrigation system. Several variables were studied as photosynthetic rate, plant nutrition status, yield aspects, fruit quality evaluation and water use efficiency. CO₂ enrichment increased the photosynthetic rate but not transpiration. Better responses of nutrients absorption and redistribution, especially macronutrients during maturation when the temperatures were higher, were obtained by the application of CO₂ than potassium. The highest potassium fertilized plants yielded more fruits per plant with higher average weight. On the other hand, the most CO₂-enriched plants yielded only more fruits per plant. Total and marketable yield increased until 60.10 t ha⁻¹ and 55.64 t ha⁻¹ with increasing potassium until 341.12 kg ha⁻¹ K₂O and 347.03 kg ha⁻¹ K₂O and CO₂ until 267.10 kg ha⁻¹ CO₂ and 311.67 kg ha⁻¹ CO₂, respectively. The 301.8 kg ha⁻¹ CO₂ and 50 kg ha⁻¹ K₂O application levels were the combination with the highest marketable harvest index. Pulp thickness changed with different CO₂ and potassium levels. Besides pulp thickness potassium influenced transversal and longitudinal fruit

diameter, whereas CO₂ affected firmness, total acidity, soluble solids content and pH of the pulp. The water use efficiency increased according higher CO₂ levels until 301.8 kg ha⁻¹ CO₂ and according potassium levels until 50 kg ha⁻¹ K₂O reaching 19.14 kg m⁻³ maximum.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos de qualidade, requer a adoção de tecnologias que possibilitem um incremento rápido e economicamente viável na produtividade das culturas, em particular das hortícolas. Essas tecnologias devem amenizar o efeito de fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas, tanto em produtividade, quanto em qualidade dos produtos agrícolas.

Entre as técnicas mais adotadas, atualmente, estão o cultivo protegido, a irrigação, a fertirrigação e, mais recentemente, o enriquecimento da água de irrigação com o dióxido de carbono (CO_2), principalmente em cultivos protegidos com alta densidade de plantas. A aplicação de CO_2 às culturas melhora o metabolismo, o equilíbrio hormonal, reduz a inibição da fotossíntese pelo oxigênio, aumenta a fotossíntese líquida e a absorção de nutrientes, resultando em plantas mais resistentes às doenças e às pragas e mais produtivas em quantidade e qualidade (Durão & Galvão, 1995).

O aumento da concentração de CO_2 também aumenta a temperatura ótima para o crescimento das plantas. Essa prática, já bastante utilizada na Europa e nos Estados Unidos, é uma forte aliada no processo produtivo, especialmente, na floricultura, fruticultura e horticultura irrigadas, podendo ainda ser empregada em estufas fechadas, semi-abertas e áreas abertas.

No Brasil, são poucos os estudos sobre o enriquecimento da água de irrigação com CO_2 . E muitos aspectos com relação a ecofisiologia e processo de trocas de CO_2 pelas plantas, doses, tempo e hora de aplicação mais apropriados, precisam ser esclarecidos, visando uma melhor relação custo benefício. Atualmente, a concentração do CO_2 na atmosfera está em torno de $367 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$, tendendo a aumentar (Keeling et al., 1999), o que corresponde a um teor entre 0,03% a 0,04% da atmosfera.

Segundo Hall & Rao (1980), a fotossíntese é sensivelmente elevada com o acréscimo da concentração de CO_2 e taxas muito boas de fotossíntese podem ser

obtidas com um teor de 0,1% de CO_2 (1000 ppm). Portanto, as plantas em seu ambiente natural não dispõem de CO_2 suficiente para fazer uso máximo da luz solar que incide sobre elas. Isso ressalta a importância do prévio conhecimento do comportamento das culturas, mediante crescentes aumentos de doses de CO_2 . Como o meloeiro apresenta metabolismo C_3 , segundo Hall & Rao (1980), tem ponto de compensação de CO_2 em torno de 500 ppm, cinco vezes mais que plantas C_4 , podem responder mais expressivamente a acréscimos de CO_2 .

O meloeiro tem grande importância econômica para o Brasil, onde se adaptou bem às condições de solo e de clima, especialmente, da Região Nordeste, maior produtora de melão, atendendo principalmente ao mercado internacional do centro-sul do país (FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 2000; Lopes Filho, 1990), que se encontra em franca expansão, tanto pelo aumento da área plantada, como pelo nível tecnológico empregado em seu cultivo.

A cultura do melão é exigente em nutrientes, particularmente, em potássio que, segundo Prabhakar et al. (1985), é o principal responsável pela translocação de carboidratos para os frutos, com importante participação na produção e na qualidade dos frutos. Além disso, é uma cultura que responde bem à irrigação por gotejamento, cuja eficiência tem proporcionado significativos aumentos na produtividade, bem como a fertirrigação, ao possibilitar maior parcelamento dos nutrientes, de acordo com a marcha de absorção da cultura (Pinto et al., 1996; Sousa et al., 1999).

O enriquecimento da água de irrigação com CO_2 e a fertirrigação se impõem como práticas a serem adotadas, visando aumento da produtividade e da qualidade de frutos de melão.

A falta de informações sobre os efeitos de diferentes doses de CO_2 no meloeiro tem limitado o avanço dessa tecnologia. Assim, torna-se fundamental a realização de estudos para determinar as doses de CO_2 e de potássio mais adequadas para otimizar o cultivo do meloeiro, especialmente, em ambiente protegido, mediante as prováveis alterações no metabolismo da planta, na eficiência do uso da água, no rendimento e na qualidade dos frutos do meloeiro.

Os objetivos deste trabalho foram estudar os efeitos de diferentes doses de dióxido de carbono (CO_2) e de potássio (K_2O), aplicadas através da irrigação por gotejamento sobre o meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido, quanto a absorção de nutrientes, a processos fisiológicos, ao desenvolvimento e

crescimento da planta, aos aspectos de produção, às características de qualidade dos frutos: física (espessura da polpa, firmeza, diâmetros transversal e longitudinal) e química (acidez total, pH e teor de sólidos solúveis totais), e na eficiência do uso de água.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos da cultura

O meloeiro apresenta três variedades de maior valor econômico: *C. melo* var. *inodorus* Naudim (amarelo), *C. melo* var. *cantalupensis* Naudim (cantaloupe) e *C. melo* var. *reticulatus* Naudim (rendilhado) (Sousa et al., 1998b). Essa última tem atingido melhores preços e melhor retorno econômico, entretanto, é mais perecível. Mas, segundo Robinson & Decker-Walters (1997), as antigas categorias de melão de acordo com a classificação de Naudin (1856), foram recentemente reagrupadas com base em características e usos dos frutos e não nas variedades botânicas (filogenia), não concordando necessariamente com regras de nomenclatura. Uma dessas categorias de cultivar é a *cantalupensis*, que apresenta expressão sexual andromonóica, frutos globular de tamanho médio que quando maduros destacam-se do pedúnculo, apresentam aroma acentuado, casca rendilhada corticosa, com ou sem suturas, polpa de cor salmão ou alaranjada, podendo às vezes ser verde. No Brasil, é expressiva a participação desse grupo de melões, predominando o plantio de híbridos, pelas vantagens econômicas e de mercado.

Outras vantagens do meloeiro rendilhado "net-melon" também são relacionadas: a alta qualidade em sabor (12 °Brix), o aroma, a textura, a polpa espessa, além de possuir boa aceitação no mercado. Entretanto, o mesmo apresenta baixa vida de prateleira e baixa resistência ao transporte (Sousa et al., 1998b), se comparado ao meloeiro amarelo. Apesar disso, seu valor agregado superior aos das demais cultivares e a possibilidade de cultivo em pequenas áreas com boa produtividade, tornam interessante a sua produção próxima aos centros consumidores.

O meloeiro adapta-se melhor aos solos areno-argilosos, bem drenados e, com pH entre 6,2 e 7,2 por serem sensíveis a solos ácidos, prosperando melhor em solos neutros ou ligeiramente alcalinos (Pimentel, 1985).

Climas quentes e secos são os mais favoráveis ao meloeiro, requerendo irrigação para suprir sua demanda hídrica, de acordo com o estágio de desenvolvimento, especialmente, na floração e frutificação. A época de plantio mais favorável ao meloeiro é de agosto a fevereiro ou o ano todo, em locais com condições climáticas ideais, ou seja, com temperatura anual média entre 18°C e 39°C (Blanco et al., 1997). A temperatura é o fator climático mais importante para o desenvolvimento do meloeiro. A maioria dos autores cita que a faixa ótima de temperatura para o desenvolvimento e a produtividade do meloeiro está entre 20 °C e 30°C. Temperaturas críticas mínimas são 15°C para a germinação e de 12°C a 13°C para o crescimento. Sob temperaturas abaixo de 18°C, as flores não abrem. Temperaturas acima de 35°C a 40°C são prejudiciais, pois além de paralisar o crescimento, provocam o aborto de flores (Filgueira, 2000; Brandão Filho & Collegari, 1999; Pereira & Marchi, 2000). Dessa forma, os limites críticos de temperatura devem ser evitados.

O meloeiro apresenta crescimento rasteiro, chegando a 3,0 m de comprimento, e possui raízes fasciculadas entre 0,20 m e 0,40 m de profundidade. O cultivo do meloeiro tutorado na vertical facilita os tratamentos culturais, o controle fitossanitário, simplifica a colheita e, de acordo com Sganzerla (1997), evita danos às plantas e proporciona maior ventilação, principalmente, durante o florescimento. Isto favorece a polinização natural e artificial, além de possibilitar sensível aumento na densidade de plantas, o que beneficia a produtividade.

A floração ocorre em dois períodos, próximo aos 20 dias e aos 30 dias após a germinação e quanto ao tipo, o meloeiro apresenta flores masculinas, femininas e hermafroditas (minoria). A polinização é aberta e os principais agentes são as abelhas; e na ausência dessas, caso do ambiente protegido fechado, a polinização artificial torna-se indispensável (Sousa et al., 1999).

Com relação à classificação pós-colheita dos frutos de melão, Filgueiras et al. (2000) propuseram a classificação por peso e por número de frutos por caixa com capacidade para 5,0 kg ou 4 a 9 frutos. Segundo essa classificação, são considerados frutos comerciais aqueles que pesarem entre 0,55 kg a 1,85 kg (Tabela 1).

Tabela 1. Limites de peso por fruto para caixas com capacidade para 5,0 kg.

Tipo (Nº de frutos por caixa)	Peso mínimo por fruto (kg)	Peso máximo por fruto (kg)
4	1,25	1,85
5	1,00	1,50
6	0,85	1,25
7	0,70	1,05
8	0,65	0,95
9	0,55	0,85

Fonte: Alves et al. (2000).

2.2 Dióxido de carbono (CO₂)

O cultivo de plantas em ambiente protegido com aumento artificial do CO₂ vem sendo utilizado há vários anos para a obtenção de produtos em maior quantidade e de melhor qualidade (Mudrik et al., 1997). O enriquecimento com CO₂ pode ser atmosférico ou via água de irrigação. A aplicação do CO₂ no ambiente, tomou impulso a partir dos anos 60, após vários trabalhos desenvolvidos por pesquisadores norte-americanos e europeus. A utilização do CO₂ armazenado em tanques ou cilindros e a criação de equipamentos eficientes na medição da sua concentração resolveram muitas limitações. Nos anos 80, com o avanço da irrigação localizada e de métodos de solubilização do CO₂ na água, o interesse pela fertilização carbônica voltou, com possibilidade de ser aplicado nos cultivos abertos (Durão & Galvão, 1995), via irrigação.

A concentração média atual de CO₂ na atmosfera de 367 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (Keeling et al., 1999) é considerada baixa para o potencial fotossintético das plantas C₃, entretanto, esta concentração pode atingir 600 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ no ano de 2050 (Schaffer et al., 1999). Isto sem dúvida afetará a agricultura, uma vez que esse processo quase sempre implica no aumento da produção de biomassa em plantas C₃ (Idso & Idso, 1994). Não há um consenso geral sobre a resposta quantitativa das plantas ao aumento do CO₂ no crescimento, devido às diferenças entre as espécies e ao efeito de outros fatores ambientais (Morison & Gifford, 1984).

É pertinente a importância do prévio conhecimento do comportamento das culturas, mediante crescentes aumentos de níveis de CO₂. Como o meloeiro

apresenta metabolismo C_3 , segundo Hall & Rao (1980), tem ponto de compensação de CO_2 em torno de 500 ppm, cinco vezes mais que plantas C_4 , podendo responder mais expressivamente a aumentos de níveis de CO_2 na atmosfera.

O enriquecimento do ambiente com CO_2 passou por fases de expansão e de desconfiança ao longo deste século, apesar de sempre se ter verificado os efeitos positivos do CO_2 no desenvolvimento das culturas. Muitas pesquisas envolvendo o CO_2 foram realizadas de 1900 até a década de 30 em diferentes países da Europa e nos Estados Unidos. Grande parte dos resultados obtidos não pôde ser extrapolada devido à precariedade dos métodos experimentais utilizados, embora os efeitos positivos observados tenham sido animadores.

A partir da década de 60, esta técnica ganhou impulso com o desenvolvimento de equipamentos mais precisos e de fácil utilização para controlar a aplicação do gás em casas de vegetação. A técnica se estabeleceu a partir da década de 80 (Kimball & Idso, 1983; Mortensen, 1987). Atualmente, equipamentos e técnicas adequadas à aplicação do CO_2 , estão disponíveis para diversas condições de clima e de plantio, inclusive via irrigação.

De acordo com Chmora & Mokronosov (1994), o efeito da concentração de CO_2 em campo aberto é gradual e permite alterações de comportamento e adaptações genéticas das plantas, o que difere das condições de casa de vegetação, onde a escala de tempo e de desenvolvimento proporcionam altas produções. Para Mudrick et al. (1997), o estudo do enriquecimento atmosférico do ambiente com CO_2 é viável em cultivos protegidos para aumento da produtividade, da qualidade dos produtos e do desempenho das plantas.

A prática generalizada de incorporação de tela anti-inseto nas aberturas das estufas para proteger os cultivos de pragas e doenças, segundo Lorenzo (2000), reduz a ventilação natural, tornando-a insuficiente para restabelecer a concentração de CO_2 no interior das estufas, principalmente, quando ocorrem altas taxas de assimilação do CO_2 pela cultura. Slack & Hand (1985) consideram oportuno manter a concentração de CO_2 no interior do ambiente protegido no mesmo nível atmosférico externo, inclusive onde a ventilação é imprescindível durante grande parte do dia.

Os fatores ambientais que mais afetam o metabolismo do carbono são: água, nutrientes, temperatura e luz. Nas regiões tropicais é difícil o déficit de luz, especialmente para as plantas C_3 que saturam em baixa intensidade luminosa (600

$\mu\text{moles quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a $800 \mu\text{moles quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$). O efeito do CO_2 sobre o crescimento das plantas é basicamente o mesmo para níveis de luminosidade entre $129 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a $268 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e, para algumas espécies, o aumento da concentração de CO_2 pode compensar uma redução de até 30% na intensidade de luz (Idso et al., 1994).

A reação das várias espécies de plantas cultivadas em ambiente enriquecido com CO_2 é distinta. Casella et al. (1996) verificaram que o efeito do CO_2 no crescimento das plantas é variável com as estações do ano, sendo maior no verão. A magnitude do aumento da taxa fotossintética em função da aplicação do CO_2 depende da temperatura e da luz, quando outros fatores não limitarem a fotossíntese. O aumento da temperatura promove acréscimo na atividade fotossintética até a temperatura ótima para a cultura. A partir desta, a atividade decresce rápido. A temperatura ótima para a fotossíntese varia com o estágio da cultura, mantendo-se entre 20°C a 30°C para a maioria delas (Acock et al., 1990). O enriquecimento atmosférico com CO_2 e a temperatura atuam na produção de carboidratos, sendo que a temperatura influencia mais a mobilização e uso dos carboidratos. A respiração é proporcional à temperatura, até o ponto em que passa a causar injúrias ao protoplasma e o aumento da respiração não implica mais em crescimento (Pimentel, 1998).

A irrigação, como veículo de aplicação de CO_2 , aumenta a sua concentração no micro-ambiente das plantas e no ar do solo ocupado pelas raízes, elevando os teores de bicarbonato na solução do solo, alterando as atividades microbiológicas e o pH, o que interfere diretamente na nutrição das plantas (Moore, 1990). Com base na literatura, nota-se que as concentrações ótimas de CO_2 para as culturas variam entre $600 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ e $1000 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$.

2.2.1 Efeito do CO_2 nas plantas

O carbono constitui cerca de 45% da matéria seca das plantas e a sua principal fonte é a atmosfera. As plantas absorvem o CO_2 da atmosfera através dos estômatos e o mesmo é fixado e transformado numa série de processos, o ciclo de Calvin-Benson. A concentração de CO_2 na atmosfera ($\cong 367 \text{ ppm}$) é considerada muito baixa para a máxima fotossíntese das plantas, devido à competição entre CO_2 e O_2 atmosféricos, para serem fixados pela enzima ribulose difosfato carboxilase. A

concentração normal de oxigênio é 21% e inibe a absorção de CO_2 (0,0367%) pelas plantas, aumentando a perda de carbono no processo de fotorrespiração.

O interesse pela aplicação de CO_2 em plantas cultivadas aumentou nos últimos anos devido ao conhecimento adquirido sobre a resposta da planta ao enriquecimento com CO_2 em diferentes condições climáticas e dos problemas relativos à poluição do ar. Esta técnica propicia condições ótimas para o crescimento das plantas, apresentando efeito positivo na produtividade e na economia. A aplicação de CO_2 é, particularmente, importante durante o inverno e em épocas com reduzido número de horas de luz.

O efeito do enriquecimento com CO_2 em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar, bem como sobre a causa dos danos provocados às plantas quando submetidas a altas concentrações de CO_2 devem ser estudados (Mortensen, 1987).

A princípio acreditava-se que quanto maior a concentração de CO_2 , melhores seriam os resultados e adotava-se concentrações entre $2000 \mu\text{mol mol}^{-1}$ e $3000 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Nos últimos anos, experimentos têm demonstrado que concentrações acima de $900 \mu\text{mol mol}^{-1}$ raramente apresentam algum benefício (Heij & Uffelen, 1984; Mortensen & Ulsaker, 1985).

Segundo Lorenzo (2000), o aumento da concentração de CO_2 em ambiente protegido gera incrementos produtivos variáveis, dado que a concentração ambiental de CO_2 é inferior a ótima biológica para a maioria das espécies hortícolas. Quando essa concentração é elevada para $900 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$, a inibição da taxa fotossintética exercida pela concentração O_2 , é, praticamente, eliminada pelo aumento da relação CO_2/O_2 (Mortensen, 1987). O enriquecimento com CO_2 é uma prática muito usada em vários países para aumentar o rendimento das culturas (hortaliças) nas horas da fase clara do dia em que as estufas são mantidas fechadas (Wacquant¹ citado por Andriolo, 1999).

Mavrogianopoulos et al. (1999) estudaram respostas do híbrido de melão 'Parnon' às concentrações de 400, 800 e $1200 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ no ambiente durante 5 horas por dia, sob radiação de $950 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Observaram que incrementos de $400 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ para $800 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ e, de 800 para $1200 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ resultaram em ganhos na taxa fotossintética de 75% e 120%, respectivamente. A

¹ WACQUANT, C. La fumure carbonée de la tomate sous serre. In: Cultures légumières sur substrat. Paris: CTFIL, 1990. p.37-46.

taxa fotossintética atingiu valores superiores a $40 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, demonstrando que há uma forte correlação entre o CO_2 e a taxa de assimilação líquida da planta.

Uma das formas de aumentar a eficiência fotossintética das plantas C_3 , como o meloeiro, é com o aumento da concentração em CO_2 do ar. Quando a concentração normal do CO_2 de 340 ppm é elevada para 700 ppm e 1000 ppm, obtém-se um aumento da fotossíntese da ordem de 20% a 25% (Andriolo, 1999). Já, Rezende (2001) observou superioridade da ordem de 57,64% na taxa fotossintética de pimentão medida pela manhã, comparada com as medidas à tarde, por volta das 14:00 h.

A resposta das plantas ao incremento de CO_2 no ambiente pode variar de um crescimento rápido à redução do crescimento e atraso da colheita, quando a concentração de CO_2 ultrapassa $700 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (Putkhal'Skaya, 1997). Espécies de plantas diferentes respondem distintamente às concentrações de CO_2 variando o teor de nitrogênio e de tanino, modificando o ataque de pragas (Traw et al., 1996), bem como às trocas de CO_2 sob estresse hídrico, o que depende da idade, posição do ramo e da folha na planta e teor de água no solo (Larcher, 1995). Ham et al. (1995) constataram que o estresse hídrico freqüente em plantas melhora a sua resposta à concentração de CO_2 . Ao passo que Pinto (1997) observou que a taxa de assimilação de CO_2 pelo meloeiro tendeu a cessar quando o aumento da sua concentração no ambiente atingiu $1000 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ para radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Para valores de PAR de $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e $550 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, essa taxa de assimilação de CO_2 também aumentou, embora, com incrementos menores.

Embora a maioria dos trabalhos relata sobre CO_2 aplicado diretamente no ar, alguns estudos mostram que o fornecimento de água enriquecida com CO_2 às plantas, utilizando sistema de irrigação por gotejamento em casa de vegetação, eleva sua concentração no ar e, conseqüentemente, aumenta a fotossíntese e a produção de fitomassa. O enriquecimento atmosférico com CO_2 tem promovido a absorção mais eficiente de nutrientes escassos (Norby et al., 1986), requerendo mais energia, o que é compensado pelo aumento dos carboidratos disponíveis (Rufty Júnior et al., 1989).

A maior concentração de CO_2 aumenta a eficiência das reações enzimáticas, ao mesmo tempo que diminui a fotorrespiração da planta. Esse efeito vem acompanhado de efeitos secundários, como a redução da transpiração e o aumento

da absorção mineral, especialmente o N. Devido a essas interações, o enriquecimento em CO₂ exige um manejo integrado da cultura quanto ao fornecimento de água e nutrientes.

Para Vessey et al. (1990), os efeitos normalmente observados em plantas C₃, em função da injeção de CO₂ no ambiente, são: diminuição do teor de nitrogênio foliar, aumento de carboidratos, alteração na distribuição de proteínas e outros compostos nitrogenados e aumento da massa foliar. Sob concentração de CO₂ de aproximadamente 700 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$, plantas C₃ aumentaram o desenvolvimento vegetativo em 41%, as C₄ em 22% e as CAM em 5% (Soussana et al., 1996).

Testando concentrações de CO₂ e intensidade luminosa, Acock et al. (1990) obtiveram variações de 71% em plantas C₃ e de 28% em plantas C₄. O incremento variou com a temperatura, sendo que a velocidade de assimilação aumentou em até 80% ao ativar a enzima rubisco (ribulose 1,5 bifosfato carboxilase-oxigenase), o que reduziu a fotorrespiração, acelerou o metabolismo, o crescimento e a produção. A fertilização atmosférica com o CO₂ aumenta a taxa fotossintética, o desenvolvimento das culturas e a resistência ao estresse hídrico (Baron & Gorsky, 1986).

Pinto (1997) aplicou 50 kg ha⁻¹ de CO₂ através da irrigação na cultura do melão amarelo rasteiro cultivado em ambiente protegido, com densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ e obteve a maior taxa fotossintética líquida durante a aplicação de CO₂ e a maior produtividade de 28,68 t ha⁻¹ de frutos contra 22,53 t ha⁻¹ para o meloeiro sem aplicação do CO₂. Esse ganho em produtividade ocorreu sem prejuízos das características químicas dos frutos, por até 30 dias após a colheita.

Já Mudrik et al. (1997) observaram nas plantas C₃, aumentos de até 52% na fotossíntese e de 29% na produção, com aplicações de CO₂ em curto período de tempo. Em contrapartida, a exposição contínua das plantas cultivadas sob concentrações elevadas de CO₂, como 0,5% (5000 ppm), podem causar danos às folhas (Hall & Rao, 1980), além de promover fechamento dos estômatos, maior produção de etileno e desenvolvimento de doenças (Cure & Acock, 1986).

Estudando o efeito de CO₂ aplicado na atmosfera sobre o pimentão cultivado em vaso, Rezende (2001) verificou que o peso seco das folhas foi menor nos ambientes com CO₂ e que aumentos na concentração de CO₂ atrasou o crescimento vegetativo das plantas, embora tenha aumentado a produção.

Gomes (2001) aplicou CO_2 em alface através da irrigação, obtendo aumentos de até 26% na produtividade, maior taxa fotossintética para a concentração de $600 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ no ambiente, aumento do íon potássio em 63% na planta sob $155,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de CO_2 comparada à testemunha e concluiu que a aplicação de CO_2 através da irrigação foi mais eficiente que o enriquecimento atmosférico.

2.2.2 Efeito do CO_2 no solo

O CO_2 aplicado no ambiente ou misturado na água de irrigação, reage com os cátions da solução do solo produzindo bicarbonatos, os quais são absorvidos pelas plantas, melhorando a qualidade de flores e frutos (Smith et al., 1991). O efeito do CO_2 é mais intenso no verão, quando a temperatura é mais elevada, aumentando a atividade microbiológica e a degradação de minerais do solo, como o fósforo (P) (Casella et al., 1996) e da matéria orgânica. Entretanto, o CO_2 reduz o pH do solo, o que, além de elevar a disponibilidade de P e de cálcio na solução do solo, facilita a absorção de Zn e Mn (Mauney & Hendrix, 1988). Essa alteração no pH tende a normalizar 12 h após a aplicação do CO_2 (Basile et al., 1993).

Em solos com limitação nutricional, a aplicação de CO_2 proporciona um maior desenvolvimento do sistema radicular, permitindo maior absorção de nutrientes e translocação dos fotoassimilados das folhas para as raízes (Norby et al., 1992). Alves et al. (1998) verificaram que o CO_2 aplicado através da irrigação na alface cultivada em ambiente protegido, promoveu um aumento de 30% nos valores da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), sem no entanto, provocar alterações significativas na produtividade.

Tem-se registrado esgotamento de CO_2 em ambiente protegido durante o período de iluminação da insolação incidente, ocasionado pelo elevado consumo fotossintético. Esse decréscimo torna-se mais intenso a medida que o dossel vegetal desenvolve, atingindo reduções de até 55% quando o ambiente permanece fechado (Sánchez-Guerrero² citado por Lorenzo, 2000). Uma estratégia dinâmica no manejo do CO_2 seria manter a concentração de $700 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ com as cortinas fechadas e de $350 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ quando for necessário mantê-las abertas (Lorenzo, 2000).

² SÁNCHEZ-GUERRERO, M.C.; LORENZO, P.; MEDRANO, E.; et al. Heating and CO_2 enrichment in improved low-cost greenhouse. *Acta Horticulturae*, 2000.

espécies, cultivares e variedades das plantas cultivadas. Brito³ citado por Dutra et al. (2000), testou vários níveis de salinidade na água de irrigação em melão e observou que só a partir de 3,0 dS m⁻¹ o desenvolvimento das cultura foi significativamente afetado.

A aplicação simultânea de água e fertilizantes, dentre outras vantagens, aumenta a eficiência de ambos e permite o fornecimento de nutrientes em função do estágio de desenvolvimento da cultura (Shani, 1981). A fertirrigação por gotejamento ou por microaspersão é a forma de aplicação que mais se aproxima do ritmo de absorção de água e de nutrientes pela planta, uma vez que possibilita a aplicação diária de nutrientes na proporção e quantidades adequadas (Padilla, 1997). Isso tem contribuído bastante para o aumento da produtividade de culturas irrigadas, além de limitar as perdas por lixiviação. Tais aspectos estão consolidando essa técnica nas áreas produtoras, especialmente as de melão.

Muitos estudos têm mostrado que a irrigação por gotejamento é um eficiente método de aplicação de água e de fertilizantes, especialmente para a cultura do melão que não tolera umidade na parte aérea (Sousa et al., 1998a; Pinto et al., 1999) e a fertirrigação por gotejamento possibilita o fornecimento de água de maneira contínua, diretamente na zona radicular das plantas, possibilitando a fertilização na quantidade adequada, no momento e no local onde é requerida (Finkel, 1982). Além disso, trata-se de uma técnica mais precisa e econômica em termos de fertilizante, mão-de-obra e energia, se comparada à aplicação convencional (Cuenca, 1989).

Com relação às concentrações adequadas dos produtos químicos na água de irrigação, Pizarro (1996) recomenda limites flexíveis de concentração, entre 200 ppm a 400 ppm, não devendo exceder 700 ppm ou 700 mg L⁻¹. Esse limite é importante, pois, se muito elevado, pode aumentar problemas de toxicidade nas culturas, de corrosão dos injetores e demais instrumentos metálicos do sistema de irrigação e ainda de contaminações de fontes de água e do solo.

Normalmente, o sucesso ou o insucesso da quimigação, depende das concentrações trabalhadas, dos produtos utilizados, das dosagens e dos tempos de aplicação dos produtos. Além disso, condições de enriquecimento carbônico requerem uma adequação da fertirrigação, já que o aumento esperado da

³ BRITO, G.N.S. Produtividade do melão irrigado por gotejamento com água de diferentes níveis salinos. Fortaleza, 1997. 87f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará.

Normalmente, o sucesso ou o insucesso da quimigação, depende das concentrações trabalhadas, dos produtos utilizados, das dosagens e dos tempos de aplicação dos produtos. Além disso, condições de enriquecimento carbônico requerem uma adequação da fertirrigação, já que o aumento esperado da assimilação fotossintética induz a um incremento implícito da absorção iônica (Lorenzo, 2000),

Em condições de campo, solo arenoso e sem adição de CO_2 , Sousa et al. (1998a) obtiveram a maior produtividade comercial do meloeiro ($44,34 \text{ t ha}^{-1}$) ao aplicar por fertirrigação 160 kg ha^{-1} de N e 190 kg ha^{-1} de K_2O . Entretanto, para doses superiores às mencionadas, observaram redução nessa produtividade. Constataram, ainda, que a combinação entre as menores doses de N e as maiores doses de K_2O (190 kg ha^{-1}) tenderam a elevar a produtividade do meloeiro.

Sousa et al. (2000) utilizaram 370 kg ha^{-1} de K_2O e $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ para uma densidade de $25.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ e colheram $63,88 \text{ t ha}^{-1}$ de melão com a máxima eficiência de uso da água ($227,1 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$), irrigando diariamente. Enquanto que, Sousa & Sousa (1998) aplicaram 100 kg ha^{-1} de K_2O e 90 kg ha^{-1} de N via fertirrigação, a cada dois dias, em $6.666 \text{ plantas ha}^{-1}$, obtendo a maior produtividade comercial de $21,09 \text{ t ha}^{-1}$.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local do experimento

Este trabalho foi desenvolvido em estufas instaladas na área experimental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP - Departamento de Engenharia Rural, Piracicaba, SP, localizada à latitude de 22°42'30" S, longitude 47°38'00" W e altitude de 580 m.

Pela classificação climática de Köppen, o clima da região é mesotérmico do tipo Cwa, subtropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média mensal varia de 24,8 °C (verão) a 17,1 °C (inverno), sendo a média anual 21,4 °C. A umidade relativa média é 74% e a pluviosidade média anual é de 1.278,0 mm, ocorrendo aproximadamente 1000,0 mm de outubro a março e 278,0 mm de abril a setembro (Sentelhas, 1998).

3.2 Estrutura experimental

Instalou-se quatro estufas agrícolas, tipo arco (Figura 1), com orientação no sentido leste-oeste, com 3,0 m de pé-direito, 7,0 m de largura, 17,5 m de comprimento e 4,7 m de altura. Sob cada arco das fachadas frontais, instalou-se uma janela para liberar o ar quente que se acumulava no alto.

As fachadas laterais e frontais possuíam rodapé de concreto com 0,30 m de altura, tela de polipropileno branco de 1,0 mm para impedir a livre entrada de pragas e cortinas de polietileno transparente com 150 μ de espessura com tratamento anti-ultravioleta. O teto foi coberto com o mesmo filme de polietileno. As cortinas possuíam um sistema de manivela; que permita o fechamento e a abertura sempre que necessário para otimizar as condições de temperatura e de umidade relativa do ar (UR).

Figura 1 - Estufas agrícolas de estrutura metálica utilizadas no experimento.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Realizaram-se experimentos com melão rendilhado 'Bônus 2', analisando-se o efeito de doses de potássio (K_2O) e de gás carbônico (CO_2) aplicadas através da água de irrigação. Em cada estufa aplicou-se uma dose de CO_2 . Na análise do efeito do potássio sobre o meloeiro, em cada estufa, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, para as doses de K_2O . Na análise do efeito do CO_2 , utilizou-se a técnica de análise conjunta de experimentos, conforme descrito por Gomes (2000). Foram testadas quatro doses de K_2O e quatro doses de CO_2 (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos resultantes de combinações entre doses de CO_2 e de potássio (K_2O) aplicados durante o ciclo do meloeiro.

DOSES DE CO_2 ($kg\ ha^{-1}$)		DOSES DE K_2O ($kg\ ha^{-1}$)
META	APLICADA	
$C_0 = 0,0$	0,0	$K_1 = 50$
$C_1 = 152,5$	165,0	$K_2 = 150$
$C_2 = 281,8$	301,8	$K_3 = 300$
$C_3 = 411,5$	460,4	$K_4 = 600$

Obtido os dados experimentais, preliminarmente procedeu-se às análises individuais para os quatro experimentos (estufas) para obtenção de conclusões locais com base no esquema apresentado na Tabela 3. Em seguida, realizou-se análises conjunta dos experimentos envolvendo todos os tratamentos testados, com

base no esquema apresentado na Tabela 4, para estudar o efeito do CO₂. Nessa análise, o efeito de CO₂ foi confundido com o efeito de experimentos ou estufas.

Tabela 3. Resumo do quadro de análise de variância para cada experimento.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE
Potássio	3
Blocos	3
Resíduo	9
Total	15

Tabela 4. Quadro de análise de variância para análise conjunta dos experimentos com desdobramento dos graus de liberdade dos fatores CO₂ e K₂O.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE (GL)
DOSES DE CO ₂	3
Efeito Linear	1
Efeito Quadrático	1
Desvio	1
DOSES DE K ₂ O	3
Efeito Linear	1
Efeito Quadrático	1
Desvio	1
INTERAÇÃO CO ₂ x K ₂ O	9
Blocos dentro de Estufa	12
Resíduo Médio	36
CV (%)	--
MÉDIA GERAL	--

Na análise de variância o valor de F testou a hipótese H₀, de que não existe diferença entre as médias dos tratamentos. Considerou-se 5%, o nível de significância mínimo para a rejeitar H₀ e aceitar que houve diferença significativa entre pelo menos dois tratamentos. Em seguida, fez-se o detalhamento da análise por meio de estudos de regressão, verificando tendências das variáveis em função dos fatores testados, mediante ajuste de curvas e de superfícies de resposta.

Em cada estufa, reservou-se os dois canteiros laterais às bordaduras e os quatro centrais foram reservados aos tratamentos de K_2O e subdivididos em 16 parcelas formadas por segmentos de canteiro com 3,9 m de comprimento, contendo 13 plantas, sendo as 11 centrais consideradas úteis (Figuras 2 e 3).

Figura 2 – Detalhe de uma estufa.

Figura 3 - Esquema da área experimental.

3.4 Monitoramento ambiental

Instalou-se no centro das estufas termohigrômetros digitais portáteis, para medir a temperatura e a umidade relativa do ar atuais e orientar o manejo diário das cortinas e janelas.

Em uma das estufas instalou-se um sistema automático de aquisição de dados tipo CR 10X para registrar o sinal emitido pelos sensores dos elementos microclimáticos a cada 5 seg e armazenar as médias a cada 30 min. Os sensores instalados foram: um piranômetro (radiação solar global), um saldo radiômetro (radiação líquida) e quatro psicrômetros com termopares de bulbo úmido e de bulbo seco (temperatura e umidade relativa), sendo um por estufa. Na Figura 4 apresenta-se uma vista interna da estufa onde foi instalado o sistema de aquisição de dados (ao centro), com plantas de melão recém transplantadas (0 DAT).

Figura 4 - Vista interna da estufa com sistema de aquisição de dados ao centro e mudas recém transplantadas. No detalhe, um psicrômetro e momento da coleta de dados.

3.5 Características do solo dos canteiros

Dentro de cada estufa construíram-se seis canteiros, substituindo o solo local, originalmente argiloso e compactado, das valas de 0,4 m x 0,5 m x 15,0 m por um Latossolo Vermelho-Amarelo franco-arenoso, classificado por Ranzani et al. (1966) como série Sertãozinho, proveniente da camada de 0,0 m a 0,30 m de área não cultivada. As características físicas do solo são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Características físicas do solo utilizado no experimento.

GRANULOMETRIA (%)			CLASSE TEXTURAL	DENSIDADE (g cm ⁻³)	
Argila	Silte	Areia		Global	Partículas
15,23	8,67	76,10	Franco-arenosa	1,08	2,66

A altura dos canteiros acima do nível do terreno foi 0,10 m, proporcionando uma camada de solo disponível à exploração pelas raízes do meloeiro de 0,50 m de profundidade. Em cada canteiro, instalou-se uma linha de gotejadores para irrigação com água carbonatada e outra para fertirrigação.

A caracterização química inicial (Tabela 6) do solo foi feita mediante análise de amostras compostas coletadas na camada de 0-0,30 m de profundidade, logo após a construção dos canteiros nas estufas, para quantificar a necessidade de calagem, de adubação de plantio (fósforo) e de cobertura (nitrogênio). Com base nos resultados da análise química e na recomendação de Raij et al. (1996), 60 dias antes do transplante, incorporou-se nos canteiros 2,96 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (39% de CaO, 13% de MgO e PRNT de 67%).

Tabela 6. Resultado da primeira análise química do solo utilizado no experimento.

pH	P	M.O.	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H + Al ⁺	S	T	V
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	-----		(mmol _c dm ⁻³)	-----			(%)
4,60	4,00	13,80	0,90	7,50	3,30	27,80	11,95	39,73	30,00

Trinta dias após a calagem aplicou-se 240,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de termofosfato Yoorin master (17,5% de P₂O₅, 0,10% de B e 0,55% de Zn) e 30 t ha⁻¹ de esterco bovino curtido. Um mês após, foi feita nova análise química do solo, cujos resultados encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados médios da análise química do solo 60 dias após a calagem e 30 dias após a aplicação de fosfatado e orgânico bovino.

pH	P (mg dm ⁻³)	M.O. (g dm ⁻³)	K ⁺ -----	Ca ⁺² -----	Mg ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	H +Al ⁺ -----	S -----	T -----	V (%)
5,50	15,50	24,25	2,38	15,75	8,00	20,30	26,08	46,48	56,10

Utilizou-se a curva de retenção de água do solo (Figura 5) para a faixa de potencial mátrico (ψ_m) de 0 kPa a -70 kPa obtida por Silva et al. (2001a), com o uso baterias de três tensiômetros instalados a 0,20 m de profundidade em seis vasos de 62,0 L de solo, com 0,42 m de diâmetro e 0,54 m de altura. Os valores de umidade foram obtidos pelo método de pesagem do conjunto solo-vaso e o ψ_m do solo determinado por leitura direta com tensímetro digital.

Figura 5 - Curva de retenção da água no solo obtida por meio de tensiômetros.

3.6 Preparo das mudas

Mudas de melão rendilhado 'Bônus 2' foram preparadas em bandejas de poliestireno expandido de 128 células com substrato comercial organo-mineral, colocando-se uma semente por célula. Realizou-se a semeadura no dia 16/08/01, em estufa instalada no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP. As mudas foram irrigadas três vezes ao dia e aos 19 dias após a semeadura (DAS), quando a segunda folha definitiva foi emitida, as mudas foram transplantadas (Figura 6).

Figura 6 - Mudas formadas com duas folhas definitivas aos 19 DAS.

3.7 Transplântio das mudas e condução da cultura

Em 04 de setembro de 2001, as mudas foram transplantadas em fileira simples nos canteiros, com espaçamento de 0,30 m x 1,10 m. Após o transplântio aplicou-se 3,0 mm de água via irrigação, para garantir o pegamento das mudas.

Quando as plantas de melão iniciaram a emissão de gavinhas, fez-se o tutoramento conduzindo-as em haste única na vertical até 2,0 m de altura, utilizando-se fita de ráfia presa a um gancho de arame cravado no solo e, na outra extremidade, presa ao último fio de arame da espaldeira. Essa foi formada por mourões de madeira (2,5 m de altura) espaçados de 7,5 m e por três fios de arame liso nº 12, esticados paralelamente na horizontal a 0,7 m; 1,5 m e 2,0 m de altura.

Na poda utilizou-se tesouras apropriadas para cortes em hastes tenras, que foram mergulhadas numa solução fungicida-bactericida para desinfecção, antes de passar de uma planta para outra, para evitar a disseminação de doenças. Eliminou-se todos os ramos secundários até o 11o nó por meio de podas, a cerca de 0,7m do cólon da planta, deixando os demais brotos laterais com três folhas. Quando a haste principal ultrapassou o último fio de arame procedeu-se a poda apical.

Baseou-se os tratos fitossanitários preventivos e de controle em recomendações técnicas, aplicando-se defensivos químicos e naturais (óleo de nim) a cada sete dias (em média), e quando necessário, contra: cancro da haste (*Didymella bryoniae*), oídio (*Erysiphe chicoracearum*), antracnose (*Colletotrichum gloesporioides*), lagarta-roscas (*Agrotis ipsolon*), mosca minadora (*Liriomyza huidoblenis*), mosca branca (*Bemisia argentifolii*), broca das curcubitáceas (*Diaphania nitidalis*), ácaro vermelho (*Tetranychus* sp.) e pulgão (*Aphis gossypii*).

O controle da comunidade infestante foi feito aos 30 DAT por meio de capina manual e, em seguida, procedeu-se à amontoa, reparando-se os canteiros.

3.8 Polinização

Figura 7 – Flor masculina (a), flor hermafrodita (b) e polinização manual (c).

As primeiras flores masculinas surgiram no ramo principal aos 18 DAT e as primeiras flores hermafroditas surgiram nos ramos laterais aos 40 DAT. Aos 43 DAT, iniciou-se a polinização manual diariamente (Figura 7) por 15 dias consecutivos.

3.9 Irrigação

3.9.1 O sistema de irrigação

Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento, cuja água usada para irrigação foi fornecida por um conjunto de reservatórios de água com capacidade para 2000 L. O sistema de bombeamento foi composto por um conjunto motobomba de palheta, com potência de 735 watts (1,0 cv), vazão de $3,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e pressão manométrica de 630 kPa. A estação de controle, com conjunto de filtros de tela (120 mesh), reguladores de pressão (105 kPa), ventosa, registros e hidrômetros (Figura 8 e 9) foi instalada fora das estufas, em abrigo específico para proteger os equipamentos e os acessórios utilizados.

Figura 8 - Disposição dos componentes dos sistemas de irrigação, fertirrigação e de injeção de CO₂, na estação de controle.

Figura 9 - Componentes do sistema de irrigação por gotejamento e de fertirrigação, instalados na estação de controle

As linhas de irrigação constituíram-se de tubos gotejadores de polietileno linear de baixa densidade, com 225 μ de espessura e de emissores tipo labirinto, integrados à tubulação, espaçados de 0,20 m, com vazão média de 1,37 L h⁻¹ e pressão de serviço de até 105 kPa, conforme caracterização da relação vazão-

pressão (Figura 10) feita em laboratório por Frizzone et al. (1998). A vazão média do sistema de irrigação por estufa foi 0,545 m³ h⁻¹.

Fonte: Frizzone et al. (1998).

Figura 10 – Relação vazão-pressão dos gotejadores.

Após a instalação do sistema de irrigação, determinou-se a uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação (UD) em cada estufa, utilizando-se duas linhas úteis de gotejadores e quatro emissores por linha: o primeiro, o último e os situados a 1/3 e a 2/3 do comprimento da linha. Os resultados do ensaio de UD dos emissores são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação.

Estufa	Q_{25}^* (L h ⁻¹)	Q_m^{**}	$UD = \frac{Q_{25}}{Q_m} 100$ (%)
1	1,19	1,30	92
2	1,27	1,30	98
3	1,26	1,28	98
4	1,16	1,23	94
Média	1,22	1,28	95

* vazão média das observações do menor quartil;
** vazão média entre todas as observações.

A água usada para a irrigação, proveniente do sistema de abastecimento de água potável da ESALQ, foi analisada para determinação das características de qualidade (Tabela 9). De modo geral, os resultados dessa análise não indicaram limitações de água à irrigação do meloeiro.

Tabela 9. Resultados da análise da água de irrigação.

Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	mg L^{-1}	36,40
Cloreto (Cl^-)	mg L^{-1}	8,10
Nitrato (N-NO_3)	mg L^{-1}	4,10
Sulfato (SO_4^{2-})	mg L^{-1}	48,10
Fósforo (P)	mg L^{-1}	0,16
Nitrogênio amoniacal (N-NH_3)	mg L^{-1}	0,30
Sódio (Na^+)	mg L^{-1}	8,90
Potássio (K^+)	mg L^{-1}	3,40
Cálcio (Ca^{2+})	mg L^{-1}	12,70
Magnésio (Mg^{2+})	mg L^{-1}	7,30
Ferro (Fe)	mg L^{-1}	0,02
Cobre (Cu)	mg L^{-1}	0,04
Manganês (Mn)	mg L^{-1}	0,05
Zinco (Zn)	mg L^{-1}	0,03
Condutividade elétrica (CE)	mS cm^{-1}	0,16
pH	----	7,20
Acidez	mg L^{-1}	4,00
Dureza (CaCO_3)	mg L^{-1}	61,80

3.9.2 Manejo da irrigação

Realizou-se irrigações com turno de rega fixo de dois dias para facilitar a aplicação das doses meta de CO_2 , sem violar a capacidade de solubilização da água e sem ultrapassar os limites, superior e inferior da escala do fluxômetro, responsável pela medida da vazão do CO_2 injetada no sistema de irrigação.

A quantidade de água aplicada foi determinada com base na curva de retenção de água no solo (Figura 5) e nas leituras de ψ_m em tensiômetros com leitor digital (Figura 11). Em cada estufa, utilizou-se quatro tensiômetros, instalados a 0,10 m, 0,20 m, 0,30 m e 0,40 m de profundidade. Considerou-se como limite superior de água disponível no solo, a quantidade de água correspondente ao ψ_m de -9,0 kPa ($0,204 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e, como limite inferior, a quantidade de água equivalente ao ψ_m do solo, medido antes de cada irrigação.

Nos primeiros 30 DAT, calculou-se a lâmina de irrigação para a camada de solo de 0,0 m–0,20 m, considerando-se as leituras de ψ_m a 0,10 m de profundidade. Posteriormente, baseou-se as irrigações nos potenciais mátricos medidos a 0,20 m para controlar a irrigação na camada de solo de 0,0 – 0,40 m de profundidade.

Figura 11 - Bateria de tensiômetros instalados junto à linha de plantio do meloeiro com leitor digital (tensímetro).

Os tensiômetros instalados a 0,30 e 0,40 m foram utilizados para monitorar o avanço da frente de molhamento e a adequação da irrigação.

Calculou-se a lâmina de irrigação por meio da equação (1):

$$h = 10 (\theta_{cc} - \theta_{cr}) \cdot z \quad (1)$$

em que:

h – lâmina de irrigação (mm);

θ_{cc} - umidade do solo no ψ_m de -9,0 kPa ($0,204 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{cr} - umidade do solo no momento da irrigação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

z – profundidade da camada de irrigação (cm).

A lâmina de irrigação calculada foi transformada em volume (L) considerando-se a área total da estufa ($122,5 \text{ m}^2$) e o tempo de irrigação calculado por meio da equação (2):

$$Ti = 60 \cdot 10^{-3} \frac{h \cdot A}{Q} \quad (2)$$

em que:

Ti – tempo de irrigação (min);

h – lâmina de irrigação (mm);

A - área total da estufa (122,5 m²);

Q – vazão de água por estufa (0,546 m³ h⁻¹).

3.10 Fertirrigação

3.10.1 O sistema de fertirrigação

O sistema de fertirrigação operou independentemente do sistema de irrigação e constituiu-se de um reservatório para a calda fertilizante, previamente preparada em baldes de 20 L, filtro de tela (120 mesh), motobomba centrífuga (0,5 cv), válvula reguladora de pressão, ventosa, registros de corte rápido para derivação de cada dose de K₂O para as linhas laterais, correspondentes a cada dose de K₂O (Figuras 8 e 9).

3.10.2 Manejo da Fertirrigação

Iniciou-se a fertirrigação aos 4 DAT, mantendo-se a frequência de aplicação de quatro dias até os 76 DAT, quando a mesma foi interrompida. Os percentuais de distribuição de nitrogênio e de potássio (Figura 12), ao longo do ciclo do meloeiro, foram calculados com base na marcha de absorção do meloeiro e nas diferentes doses de K₂O.

A calda fertilizante foi preparada, no momento de cada fertirrigação, usando-se nitrato de potássio (KNO₃), nitrato de amônio (NH₄NO₃) e sulfato de potássio (K₂SO₄) em proporções necessárias para compor os tratamentos de K₂O preestabelecidos.

As doses de potássio foram parceladas em 19 vezes, dos 4 DAT aos 76 DAT. Entre os 4 e 48 DAT aplicou-se o KNO₃, entre os 52 DAT e 64 DAT utilizou-se combinações de KNO₃ e K₂SO₄ e entre os 68 DAT e 76 DAT utilizou-se apenas K₂SO₄. A dose de nitrogênio (200 kg ha⁻¹ de N) foi aplicada na forma de KNO₃ e de NH₄NO₃, parcelada em 16 vezes, dos 4 DAT aos 64 DAT.

Figura 12 - Distribuição percentual de nitrogênio e de potássio durante o ciclo do meloeiro (adaptado de Silva et al., 2000b).

Em cada fertirrigação aplicou-se apenas água até pressurizar o sistema. Em seguida, injetou-se um volume conhecido de calda fertilizante, previamente dissolvida (30 L), cuja concentração variava com a dose de potássio. Iniciaram-se aplicações seqüenciais e independentes, da menor para a maior dose de K_2O , operando quatro linhas laterais por vez, sendo uma por estufa. Posteriormente, injetava-se 20 L de água para lavagem e expulsão de resíduos fertilizantes dos equipamentos do sistema de fertirrigação e das linhas laterais.

Com relação a salinidade, os níveis de condutividade elétrica da solução do solo (CE) foram monitorados para cada dose de potássio, por meio de extratores de solução instalados a 0,30 m de profundidade e 0,10 m distantes da planta de melão.

3.10.3 Aplicação de dióxido de carbono

O sistema de aplicação de CO_2 constituiu-se de três conjuntos de injeção (Figura 13). Cada conjunto foi formado por um cilindro de CO_2 (5,0 kg), uma válvula reguladora de pressão, um manômetro, um fluxômetro, previamente calibrado para controlar a vazão do gás, conexões de cobre e mangueiras tipo cristal trançado, de alta resistência à pressão.

Cilindro com válvula reguladora de pressão e fluxômetro (à frente).

Figura 13 - Conjuntos de injeção de CO_2 e detalhe do cilindro com válvula reguladora de pressão e do fluxômetro.

Estabeleceram-se as doses de 600, 800 e 1000 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 , tomando como base uma concentração de CO_2 na atmosfera do ambiente protegido próxima de 365 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, de forma que essas doses corresponderam a acréscimos de 0; 235; 435 e 635 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 na atmosfera, considerando o ar como alvo. Essas concentrações foram transformadas em doses meta, visando o solo como alvo, sendo necessário estabelecer um volume controle, que foi definido como 122,5 m^3 (área total da estufa = 122,5 m^2 e altura = 1,0 m).

As doses meta correspondentes aos tratamentos de CO_2 (Tabela 2) foram parceladas em 33 vezes, resultando em doses meta constantes de 4,62, 8,54 e 12,47 kg ha^{-1} para serem aplicadas em cada fertilização carbônica. Dessa forma, regulou-se a vazão de CO_2 em função do volume de água a ser aplicado e das doses meta de CO_2 , visando injetar a mesma quantidade de gás em cada irrigação.

Nos cálculos das doses meta de CO_2 , da vazão de injeção e das concentrações de CO_2 na água de cada irrigação utilizaram-se as equações 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Volume de CO₂ a aplicar por estufa (VCe):

$$VCe = [C_m - C_{atm}] \cdot V_e \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

em que:

VCe - volume de CO₂ a aplicar por estufa (m³ de CO₂ por estufa);

C_m - concentração meta de CO₂ no ar (ppm);

C_{atm} - concentração de CO₂ desejada na atmosfera (ppm);

V_e - volume controle na estufa (m³ de ar por estufa).

Massa de CO₂ por estufa (MCE):

$$MCE = VCe \cdot 10^3 \cdot \frac{M_mC}{V_mC} \quad (4)$$

em que:

MCE - massa de CO₂ por estufa (g);

M_{mC} - massa molar do CO₂ na CNTP (44 g de CO₂ por mol);

V_{mC} - volume molar de CO₂ na CNTP (22,4 L de CO₂ por mol).

Dose meta de CO₂ por irrigação (DmC):

$$DmC = \frac{MCE}{Ae} \cdot 10 \quad (5)$$

em que:

DmC - dose meta de CO₂ a ser aplicada por hectare em cada irrigação (kg ha⁻¹);

Ae - área da estufa (m²).

Concentração de CO₂ na água de irrigação [CO₂]_i

a) em base de massa [CO₂]_m

$$[CO_2]_m = \frac{MCE}{V_{\text{água}}} \cdot 10^3 \quad (6)$$

em que:

[CO₂]_m - concentração de CO₂ na água de irrigação (ppm massa);

MCE - massa de CO₂ por estufa (g);

V_{água} - volume de água por irrigação por estufa (L).

b) em base de volume $[\text{CO}_2]_v$:

$$[\text{CO}_2]_v = [\text{CO}_2]_m \cdot \frac{V_m C}{M_m C} \cdot 10^3 \quad (7)$$

em que:

$[\text{CO}_2]_v$ – concentração de CO_2 na água de irrigação na base de volume (ppm_v);

$[\text{CO}_2]_m$ – concentração de CO_2 na água de irrigação na base de massa (ppm_m);

$M_m C$ - massa molar de CO_2 (44 g por mol);

$V_m C$ - volume molar de CO_2 (22,4 L por mol).

Vazão de CO_2 por irrigação (Q_{CO_2}):

$$Q_{\text{CO}_2} = [\text{CO}_2]_v \cdot Q_e \cdot 10^{-6} \quad (8)$$

em que:

Q_{CO_2} - vazão de CO_2 a ser injetada no sistema de irrigação (L min^{-1});

Q_e - vazão de água por estufa (L min^{-1}).

Durante as irrigações, a vazão de CO_2 foi controlada por fluxômetros, que por apresentarem baixa precisão de escala não permitiram um controle rigoroso da quantidade de CO_2 injetada no sistema de irrigação. Desse modo, essas quantidades foram também controladas pela pesagem dos cilindros, antes e depois de cada aplicação. As quantidades totais de CO_2 efetivamente aplicadas em cada estufa foram contabilizadas após a interrupção das aplicações do gás.

3.11 Parâmetros analisados

3.11.1 Aspectos Nutricionais

No início da frutificação (48 DAT) e no final do ciclo (98 DAT), folhas de uma planta em cada parcela foram coletadas para determinação da concentração dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). Realizou-se as análises no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas/ESALQ/USP.

3.11.2 Elementos fisiológicos

Mediram-se a taxa fotossintética, a condutância estomática, a transpiração e a concentração interna de CO_2 nas folhas durante a fase de frutificação, utilizando-se o analisador portátil de trocas gasosas, IRGA, modelo LI-6400, com radiação

fotossinteticamente ativa (PAR) fixada em $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. As medidas foram feitas em quatro plantas por tratamento, entre 10:00 h e 11:30 h, quando as condições de radiação e de temperatura foram mais favoráveis às atividades fisiológicas da planta. Em cada planta, selecionou-se uma folha sadia, totalmente expandida e exposta à radiação solar.

3.11.3 Elementos morfológicos

Em duas plantas de cada parcela, mediu-se, semanalmente, altura das plantas diâmetro do caule e área foliar do meloeiro.

A altura das plantas foi medida a partir do cólon até os 38 DAT, quando as mesmas atingiram o último fio de arame da espaldeira a 2,0 m de altura, em média. O diâmetro do caule foi medido utilizando-se paquímetro digital, abaixo do primeiro par de folhas verdadeiras.

Para fins de estimativa da área foliar, primeiro determinou-se o fator de correção foliar do meloeiro, utilizando medidas de maior comprimento e a maior largura de 231 folhas com diferentes tamanhos, colhidas em plantas das bordaduras. O produto dessas medidas foi relacionado com a respectiva área foliar, obtida por um medidor de área foliar de mesa, modelo LI-3100. Por meio de regressão linear foi obtido o fator de correção.

3.11.4 Produtividade

Para avaliar a produtividade total e comercial, colheram-se todos os frutos entre os dias 05 e 13 de dezembro de 2001, a partir dos 91 DAT, quando os mesmos atingiram a maturação fisiológica (teor de sólidos solúveis em torno de 11 °Brix, cor acinzentada e rendilhamento em volta do pedúnculo). Procedeu-se a pesagem individual dos frutos em balança digital com precisão de 5,0 g. Foram classificados como frutos comerciais aqueles não deformados, com peso superior a 0,550 kg, conforme Filgueiras et al. (2000). A produtividade comercial foi estimada com base na média aritmética e na distribuição de frequência de peso de frutos.

3.11.5 Qualidade dos frutos

Após a colheita e a pesagem, separou-se quatro frutos por repetição para caracterização física e química. Utilizou-se um paquímetro digital para medir os diâmetros transversal e longitudinal e a espessura da polpa, um penetrômetro (de 8,0 mm) para a firmeza da polpa em dois pontos na zona equatorial do fruto (Figura 14).

Figura 14 – Aparelhos utilizados na caracterização física e química dos frutos melão.

Um dia após à colheita, fez-se a análise química dos frutos. Utilizou-se um desintegrador de polpa (Figura 14), determinou-se o °Brix com o refratômetro analítico de bolso (precisão de 0,2); o pH, com paquímetro digital e a acidez total, pela titulação do suco com solução de NaOH 0,01N até o pH atingir 8,1.

3.11.6 Índice de aproveitamento comercial da produção

O índice de aproveitamento comercial (IAC) foi calculado pela razão entre a produtividade comercial e a total.

3.11.7 Eficiência de uso de água

A eficiência de uso de água foi determinada pela relação entre a produtividade total de frutos e a quantidade total de água aplicada por irrigação (Equação 9), conforme descrito por Doorenbos & Kassan (1994):

$$EUA = \frac{PT}{W} \quad (9)$$

em que:

EUA - eficiência do uso da água (kg m^{-3});

PT - produtividade total (kg ha^{-1});

W - volume de água aplicado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Elementos meteorológicos

As condições médias de temperatura diária, umidade relativa, radiação global e líquida, bem como a evapotranspiração estimada no interior das estufas durante o experimento, foram favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Os valores médios mensais dos parâmetros climáticos registrados durante o experimento, são apresentados na Tabela 10.

Dentre os fatores climáticos, a temperatura é o mais importante para o desenvolvimento do meloeiro, pois plantas de melão sob temperaturas inferiores a 13 °C reduzem a taxa de crescimento, temperaturas entre 20-30 °C favorecem o crescimento, desenvolvimento e produtividade; e temperaturas acima de 35 °C, causam distúrbios e redução da taxa de crescimento.

O meloeiro requer calor e umidade não excessiva para a produção, pois do contrário o seu desenvolvimento não é normal, não amadurece bem e perde em qualidade, especialmente em regiões úmidas e com pouca insolação.

Tabela 10. Dados meteorológicos médios registrados durante o experimento.

MÊS	Rn (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	RG	TEMPERATURA (°C)			UR (%)	ETP (mm dia ⁻¹)
			média	máxima	mínima		
Setembro	7,48	27,97	22,1	35,9	8,3	72,1	2,67
Outubro	8,76	32,40	23,7	33,7	14,1	74,8	3,47
Novembro	11,10	29,76	24,6	36,0	15,5	78,8	3,72
Dezembro	10,73	27,44	24,7	36,0	13,8	76,4	3,60
MÉDIA	9,52	29,39	23,8	35,4	12,9	75,5	3,40

UR – Umidade relativa; Rn – Radiação líquida; RG – Radiação global;

ETP – evapotranspiração de referência pelo método de Penman.

As condições climáticas e a boa manutenção da umidade no solo proporcionaram bom desenvolvimento do meloeiro. A média da variação diária dos elementos meteorológicos como temperatura (média, máxima e mínima), umidade relativa, radiação líquida e global, registrados durante o experimento, são representados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Variação da umidade relativa, temperatura média, máxima e mínima, durante o ciclo do meloeiro.

Figura 16 - Valores diários de radiação solar líquida e global.

As temperaturas médias no período estiveram entre 14,5°C e 27,7°C, faixa considerada favorável à cultura do meloeiro, com máximo de 36,0°C aos 51 DAT no estágio final de maturação fisiológica dos frutos e mínimo de 8,3°C aos 13 DAT, na fase de estabelecimento e desenvolvimento vegetativo, o que pode ter contribuído para prolongar o ciclo do meloeiro.

A temperatura adequada dentro da estufa depende da cultura, do estágio de desenvolvimento da planta (fase fenológica) e da época do ano. No caso do melão, segundo Zapata et al. (1989), as temperaturas mais favoráveis na época de formação das mudas são 24°C a 32°C, no desenvolvimento vegetativo 25°C a 30°C e na floração 20°C a 23°C. Os valores de UR oscilaram entre 54,5% e 99,0%, com média de 75,5%. Zapata et al. (1989) citam que as faixas de UR mais favoráveis à planta de melão são de 65% a 75%, no desenvolvimento inicial, de 60% a 70% na floração e 55% a 65% na frutificação. Considerando essa constatação, percebe-se que, especialmente, no terço final do ciclo do meloeiro, a UR apresentou valores elevados, em decorrência de dias chuvosos e nublados, o que pode ter interferido negativamente na resposta das plantas aos tratamentos.

No início do ciclo, houve maior frequência de valores baixos de radiação líquida e global devido a ocorrência de dias mais frios, nublados ou chuvosos, no entanto, esses parâmetros foram regularizando e elevando gradativamente a partir dos 40 DAT, ou seja, a medida que se aproximava o verão. Sabe-se também que a percentagem de radiação que passa pela cobertura do ambiente protegido varia em função do tipo de material utilizado e do grau de deposição de poeira sobre ele.

Segundo Andriolo (1999), no caso de hortaliças de verão como o melão, considera-se o nível de radiação líquida igual a aproximadamente 8,4 MJ m⁻²dia⁻¹ (200 cal cm⁻²dia⁻¹) como limite trófico (produção mínima de assimilados necessária para a manutenção da cultura). Desse modo, as radiação líquida média registrada no mês de setembro de 7,48 MJ m⁻²dia⁻¹ foi desfavorável ao crescimento e desenvolvimento do meloeiro. Mas, a partir de outubro a radiação líquida foi superior ao limite citado, passando a atender a demanda mínima do meloeiro.

Normalmente, abriam-se as cortinas e as janelas pela manhã para otimizar os mecanismos de redução da temperatura do ar, seguindo as recomendações de Furlan (2000), e para reduzir a UR no interior do ambiente. No final da tarde, as estufas eram fechadas para suavizar quedas de temperatura.

4.2 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação proporcionou a manutenção da umidade no solo em níveis adequados à cultura do melão, que não tolera umidade em excesso, tanto no solo quanto no ar, desfavorecendo o aparecimento de doenças fúngicas, como podridões ao nível do colon.

Até os 30 DAT, o monitoramento do teor de umidade do solo foi feito na camada de 0,0 m – 0,20 m e dos 31 DAT até o final do ciclo na camada de 0,0 m– 0,40 m. As variações do potencial mátrico da água no solo durante o experimento, nas profundidades de 0,10 m e 0,20 m, estão representadas na Figura 17.

Figura 17 – Distribuição temporal do potencial mátrico de água no solo a 0,10 m (a) e a 0,20 m de profundidade (b), durante o ciclo do meloeiro.

Os potenciais mátricos medidos a 0,10 m variaram de -7,0 kPa a -32,0 kPa e os medidos a 0,20 m variaram de -8,0 kPa a -22,0 kPa, sendo o menor valor

atingido quando a cultura encontrava-se na fase final de maturação fisiológica, em decorrência da redução programada da lâmina de água estimada. Carrijo et al. (1999) afirmam que, para hortaliças cultivadas em solo de textura arenosa, os valores de potenciais mátricos da água devem estar na faixa de -10,0 kPa a -15,0 kPa.

Como a frequência de irrigação foi de dois dias, a partir dos 40 DAT, quando as plantas estavam em pleno desenvolvimento e iniciaram a fase reprodutiva propriamente dita, os potenciais reduziam bastante até antes da irrigação, especialmente, na profundidade de 0,10 m. Já, na profundidade de 0,20 m, a variação do potencial mátrico e do teor de água no solo foi mais suave. As oscilações observadas nos potenciais mátricos do solo ao longo do ciclo do meloeiro podem ser atribuídas às condições climáticas e ao próprio desenvolvimento das plantas, visto que os menores potenciais foram registrados no final do desenvolvimento vegetativo, na floração e, sobretudo, na frutificação.

Estas variações climáticas, com aumento da demanda hídrica pela atmosfera, podem ser constatadas pela representação gráfica da evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman (Figura 18), que mostra a tendência crescente da demanda hídrica do meloeiro em elevar-se gradativamente durante o mês de setembro, intensificando-se em outubro e atingindo valores máximos em novembro, quando as plantas encontravam-se em plena fase de frutificação.

Figura 18 - Evapotranspiração média estimada pelo método de Penman durante o ciclo do meloeiro.

A evapotranspiração estimada acumulada no período foi de 293,95 mm, com média diária de 3,37 mm, máxima de 5,40 mm e mínima de 0,51 mm. Embora os valores de evapotranspiração estimados com dados microclimáticos registrados no interior da estufa não tenham sido utilizados para o manejo da irrigação, de certa forma, os mesmos estão coerentes com as lâminas de água aplicadas (Figura 19) a cada dois dias.

Figura 19 – Lâminas de água aplicadas por gotejamento.

Procurou-se manter altos teores de água no solo, durante o ciclo do meloeiro, garantindo disponibilidade de água para as plantas sem, contudo, impor excesso hídrico. Dessa forma, a primeira irrigação foi feita logo após o transplantio até formar uma faixa molhada na camada superficial do solo e as irrigações subsequentes foram feitas a cada dois dias até o final do ciclo, perfazendo uma lâmina de água de 314,1 mm. Essa lâmina somada à lâmina de água aplicada quando da aplicação dos fertilizantes, totalizou 321,7 mm, o que correspondeu ao volume total aplicado de 39.408,3 L de água por estufa (122,5 m²) e de 139,25 L por planta (considerando o espaçamento entre plantas de 30 cm nas parcelas e de 40 cm nas bordaduras), em todo o ciclo do meloeiro.

Como particularidade desse experimento, a partir dos 68 DAT, a lâmina de irrigação foi aplicada com reduções semanais de 30%, 50% e 70% até o final do ciclo, visando aumentar a concentração de açúcares nos frutos (°Brix) e acentuar o rendimento da casca.

4.3 Manejo da Fertirrigação

A fertirrigação foi realizada sempre após a irrigação, para evitar lixiviação dos nutrientes pela água aplicada para além da zona efetiva do sistema radicular do meloeiro. As doses de nitrogênio e as de potássio referentes a cada tratamento foram distribuídas ao longo do ciclo (Figura 20), de acordo com a marcha de absorção do meloeiro com picos de concentração entre 40 DAT e 68 DAT.

Figura 20 - Distribuição das doses de potássio e de nitrogênio ao longo do ciclo do meloeiro.

Na fertirrigação, fez-se a diluição prévia dos fertilizantes em água, a solução resultante foi colocada em tanque específico e o volume completado para 30 L com água. Após a pressurização das linhas laterais, abriam-se os registros para injetar e distribuir a solução no sistema.

A solução do solo foi monitorada periodicamente determinando-se a condutividade elétrica (CE) e o pH de 13 amostras coletadas de solução extraídas ao longo do ciclo do meloeiro (Figura 21), por meio de extratores de cápsulas de cerâmica porosa instalados a 0,25 m de profundidade.

A CE da solução do solo variou de $0,26 \text{ dS m}^{-1}$ (sem CO_2) a $1,51 \text{ dS m}^{-1}$, com média de $0,67 \text{ dS m}^{-1}$. Por volta dos 60 DAT, houve uma queda brusca na CE, o que pode ser atribuído à alta demanda de nutrientes pela cultura no período de formação dos frutos.

Figura 21 – Variação da CE e do pH da solução do solo ao longo do ciclo do meloeiro.

Pela Figura 21, nota-se que o maior valor de CE ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$) foi encontrado aos 14 DAT para a dose K_2 , mas, não constituiu limitação ao desenvolvimento do meloeiro, levando em conta resultados obtidos por Brito (1997)³ que, só observou efeitos significativos da CE sobre a cultura do melão para valores superiores ao limite de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Embora a dose K_2 não seja considerada excessiva ao meloeiro, principalmente para a densidade de plantas adotada, o seu alto valor, comparado aos valores de CE para os demais tratamentos aos 14 DAT, foi atribuído ao acaso, pois, nem mesmo a maior dose de K_2O ($K_4 = 600 \text{ kg ha}^{-1}$) foi suficiente para elevar a CE a níveis considerados críticos. O pico de CE observado para a dose K_4 aos 77 DAT não chegou a caracterizar uma tendência.

Ainda na Figura 21, observa-se que o pH da solução do solo apresentou pequenas alterações, variando de 6,0 a 7,6 com média de 6,8. De um modo geral, o pH reduziu suavemente ao longo do ciclo para todos os tratamentos até os 70 DAT (próximo da última fertirrigação), depois apresentou uma ligeira elevação, mas permaneceu dentro da faixa favorável ao bom desenvolvimento da cultura. O contrário ocorreu no início do ciclo, quando obteve-se valores de pH superiores a 7,0, condição que, segundo Malavolta et al. (1997), pode restringir a absorção dos macronutrientes N, P e S e dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn.

4.4 Aplicação de CO_2

As doses-meta de gás carbônico foram predefinidas e parceladas em partes iguais em cada irrigação, de acordo com resultados de testes preliminares. O ajuste de vazão do CO_2 variou com o tempo de cada irrigação, para que a quantidade de

CO₂ injetada em cada aplicação fosse semelhante. Devido à baixa precisão da escala do fluxômetro, a quantidade de CO₂ oscilou em torno da dose-meta para os diferentes tratamentos de CO₂, conforme Figura 22.

Figura 22 – Doses-meta e doses efetivas de CO₂ aplicadas a cada dois dias, ao longo do ciclo do meloeiro através da irrigação.

O CO₂ influenciou os aspectos químicos da água de irrigação, pH e CE (Figura 23). Doses crescentes de CO₂ foram inversamente proporcionais ao pH da água que reduziu-se em consequência da formação de ácido carbônico.

Figura 23 – Alteração da condutividade elétrica e do pH da água de irrigação em função de diferentes doses de CO₂ e posições da linha de irrigação.

Em termos médios, o pH variou de 5,49 (C₃) a 6,63 (C₀), coincidindo com

resultados obtidos por D'Andria et al. (1993), Guri et al. (1999) e Araújo (2002).

A CE da água de irrigação variou com a dose de CO_2 . Na dose zero de CO_2 , a CE permaneceu constante ($0,29 \text{ dS m}^{-1}$). Com adição de CO_2 , a CE apresentou pequena variação ($0,31 \text{ dS m}^{-1}$ a $0,36 \text{ dS m}^{-1}$) com média de $0,32 \text{ dS m}^{-1}$. Os menores valores de CE foram obtidos a 2/3 do comprimento da linha de irrigação.

De um modo geral, as alterações da CE não representaram limitações ou riscos ao meloeiro. A CE da água de irrigação apresentou uma tendência quadrática com valores máximos obtidos com a dose de $301,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de CO_2 .

4.5 Elementos fisiológicos

Medidas de taxa fotossintética ou de assimilação de CO_2 em plantas de melão Bônus 2 cultivadas em vaso aos 34 DAS (dias após a semeadura) resultaram numa curva de resposta (Figura 24). As folhas dessas plantas foram submetidas a uma faixa de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a condições constantes de temperatura (25°C), fluxo de concentração de CO_2 na amostra ($400 \mu\text{mol mol}^{-1}$) e com uma área amostral de 6 cm^2 , entre às 14:00 e 15:00 h.

Figura 24 - Curva de resposta da assimilação de CO_2 pelo meloeiro em função da radiação fotossinteticamente ativa.

Ajustou-se, por regressão, uma equação do segundo grau que descreve a taxa de assimilação de CO_2 pelo híbrido Bônus 2 em função da radiação fotossinteticamente ativa. O ponto de saturação em luz, equivalente a uma taxa fotossintética líquida igual a zero, foi em torno de $982,5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, não promovendo aumento na taxa fotossintética para radiações mais intensas.

Observa-se que as maiores taxas de fotossíntese ocorreram na faixa de PAR entre 800 e $1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, indicando que a fotossíntese é menos eficiente à medida que se eleva a intensidade luminosa além do ponto de saturação lumínica.

Neste experimento, a aplicação de CO_2 foi realizada entre 9:00 h e 11:00 h, mantendo-se as cortinas fechadas, pois segundo Durão & Galvão (1995), a eficiência fotossintética é maior entre às 8:00 h e 10:00 h e entre às 14:00 h e 16:00 h, quando ocorrem picos de absorção de CO_2 , o que foi confirmado por Rezende (2001), ao registrar taxa fotossintética pela manhã, da ordem de 57,64% superior àquela medida à tarde. Ao se avaliar efeitos dos tratamentos na características fisiológicas do meloeiro em estufa obtiveram-se medidas da taxa fotossintética, da transpiração, da condutância estomática e da concentração interna de CO_2 , obtidas com o analisador portátil de trocas gasosas IRGA, modelo Li-6400, aos 55 DAT, 66 DAT, 81 DAT e 91 DAT (Tabela 11).

A diferença na temperatura da folha entre a primeira e a última avaliação foi de $5,4^\circ\text{C}$, o que pode ter influenciado os resultados. Jurick et al. (1984) sugeriram que a temperatura ótima para aumentar a fotossíntese com o enriquecimento de CO_2 , passou de 35°C para 40°C , no máximo. Pois, temperaturas superiores a esse valor desnaturam as enzimas reduzindo a taxa fotossintética. Desta forma, as temperaturas registradas durante as medidas encontravam-se abaixo da faixa considerada ótima.

Comparando-se taxas fotossintéticas de plantas de melão sem adição de CO_2 e sob $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de PAR, obteve-se para plantas novas em vaso (34 DAS) a máxima taxa estimada de $32,87 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, enquanto que, nesse experimento, as plantas cultivadas em canteiros (55 DAT) apresentaram uma taxa fotossintética média de $8,09 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Tais resultados reiteram o relatado por Mavrogianopoulos et al. (1999), de que a maior taxa fotossintética ocorreu nas plantas aos 29-35 DAS, comparadas às plantas mais velhas, aos 35 a 46 DAS.

Tabela 11. Respostas fisiológicas em folhas de planta adulta do meloeiro para várias doses de K₂O e de CO₂ com radiação fotossinteticamente ativa fixada em 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

CO ₂ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O	Temperatura folha (°C)	FOTOSSÍNTESE ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	TRANSPIRAÇÃO (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO ₂ ($\mu\text{molCO}_2 \text{mol}^{-1}\text{ar}$)
C ₀ 0,0 (91 DAT)	50	27,67	9,03	7,24	0,47	172,75
	150	29,47	7,38	7,32	0,37	147,75
	300	26,24	8,14	6,42	0,44	152,00
	600	29,39	7,82	7,21	0,36	138,00
MÉDIA	---	28,19	8,09	7,05	0,41	152,63
C ₁ 165,0 (66 DAT)	50	29,44	12,13	9,79	0,75	162,50
	150	29,93	11,78	10,85	0,83	159,25
	300	29,84	13,28	10,90	0,88	170,25
	600	28,13	11,85	8,84	0,90	157,75
MÉDIA	---	29,30	12,26	10,10	0,84	162,44
C ₂ 301,8 (55 DAT)	50	29,38	13,28	9,08	1,07	172,00
	150	31,86	13,80	11,15	1,01	170,75
	300	28,02	14,38	8,95	1,23	171,25
	600	30,90	12,70	8,97	1,00	183,25
MÉDIA	---	30,26	13,54	9,54	1,08	174,31
C ₃ 460,4 (81 DAT)	50	32,26	12,43	11,35	0,55	209,25
	150	35,79	9,17	10,12	0,37	243,75
	300	30,49	11,11	9,31	0,41	211,25
	600	34,54	13,98	12,60	0,52	221,25
MÉDIA	---	33,60	11,67	10,85	0,46	221,38

Obs. Cada valor corresponde à média de quatro plantas.

Observa-se pela Tabela 11, que a condutância estomática tendeu a aumentar com as doses de CO₂ até 301,8 kg ha⁻¹, e a reduzir com a maior dose de CO₂ (460,4 kg ha⁻¹), sem registro de tendências com relação ao potássio. Já para doses crescentes CO₂, nota-se uma tendência ao incremento da taxa fotossintética pelas plantas submetidas até a dose de 301,8 kg ha⁻¹ desse gás, reduzindo a seguir.

Quando as plantas crescem, as folhas começam a sombrear outras a partir da fonte de luz, reduzindo a intensidade média de luz, à qual as folhas são expostas (Acock et al., 1990). Esta mudança não apenas reduz a taxa de assimilação líquida das folhas mais velhas, como pode explicar porque plantas mais jovens respondem mais aos incrementos de CO₂. Ademais pode explicar a diferença na grandeza das

taxas de assimilação encontrada nas medidas de plantas com diferentes idades (34 DAS e a partir dos 55 DAT).

As folhas de plantas submetidas à dose C₂ apresentaram as maiores taxas fotossintéticas (13,54 $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e de condutância estomática (1,08 $\text{molH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Registrou-se queda na transpiração, indicando um possível ganho em acúmulo de carboidratos. Para a transpiração, não foi verificado um padrão claro de resposta nos diferentes tratamentos, pois a mesma oscilou para doses crescentes de CO₂.

A taxa fotossintética medida em plantas de melão 'Bônus 2' durante a frutificação apresentou valores semelhantes aos registrados por Pinto et al. (1998) e menores que os valores encontrados durante a floração do mesmo híbrido cultivado em vaso e sem adição de CO₂ (Figura 24). Em termos médios, as maiores taxas fotossintéticas (13,54 $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e de condutância estomática (1,08 $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foram registradas para C₂ (301,8 kg ha⁻¹ de CO₂). Em termos de transpiração, não se constatou um padrão claro de resposta pelo meloeiro.

Não houve correlação entre K₂O e fotossíntese, entretanto plantas sob maior dose de potássio (K₄) apresentaram redução na taxa fotossintética, o que inverteu, quando essa dose de potássio foi combinada com as maiores doses de CO₂ (C₂ e C₃). Por outro lado, houve correlação entre CO₂ e condutância estomática, que pareceu ter sido mais afetada pelo CO₂ que pelo K₂O.

Wittwer (1986) comenta que elevados níveis de CO₂ na atmosfera reduzem a transpiração, embora o efeito na fotossíntese possa ser menor, aumentando a eficiência de uso de água. Entretanto, pelos dados da Tabela 11, não foi possível observar qualquer tendência da transpiração em função do CO₂ aplicado. O que pode ser explicado pela constatação de Araújo (2002), de que a adição de CO₂ via água de irrigação pouco alterou as concentrações do CO₂ na atmosfera.

Acock et al. (1990) verificaram que plantas de melão sob mesma temperatura tiveram maior conteúdo de açúcar, se enriquecida com CO₂ comparadas àquelas cultivadas sem adição desse gás, sugerindo que uma ótima temperatura para o crescimento sob concentração ambiente de CO₂ pode ser subótima, sob concentração elevada desse gás. A temperatura ótima pode mudar com o enriquecimento com CO₂, e esta, juntamente com o crescimento vegetativo, afetou a produtividade.

Verifica-se, também, uma redução da taxa de transpiração com o aumento da dose de CO_2 , indicando que a aplicação de CO_2 pode contribuir para a redução do consumo de água pela planta, ou para o aumento da eficiência de uso de água. Para os tratamentos que envolveram as doses extremas de CO_2 (C_0 e C_3), a condutância estomática foi menor, acompanhando a tendência quadrática registrada para a taxa de assimilação líquida. Como o papel dos estômatos é minimizar a perda de água pela planta, enquanto que marginalmente limita o ganho de carbono (Farquhar & Sharkey, 1982). Isso indica que, em condição de estresse hídrico, a perda de água é minimizada, mas também a taxa fotossintética pode ficar comprometida, embora em menores proporções.

A condutância estomática aumentou até a dose C_2 e os menores valores foram observados nos tratamentos C_0K_2 e C_0K_4 . A amplitude de condutância estomática foi maior nas plantas submetidas às doses C_2 e C_3 de CO_2 .

A concentração interna de CO_2 aumentou linearmente com a dose de CO_2 via água de irrigação, passando de $152,63 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}\text{ar}$ para $221,38 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}\text{ar}$, semelhante ao registrado por Mavrogianopoulos et al. (1999) estudando respostas do meloeiro a aplicações de CO_2 no ambiente.

Segundo Kimball (1983), incrementos na concentração do CO_2 na atmosfera reduz a taxa de transpiração das plantas, a abertura e a condutância estomática, induzindo um esgotamento mais lento da água do solo. Neste trabalho, além do CO_2 ter sido aplicado via gotejamento sobre o solo, os resultados discordam de Kimball (1983) e de Wittwer (1986), uma vez que o CO_2 não promoveu redução da condutância estomática e nem da transpiração das plantas.

Aumentos na dose de CO_2 , de C_0 para C_1 e para C_2 , elevaram a taxa fotossintética líquida em 51,54% e 67,37%, respectivamente, demonstrando forte relação entre CO_2 e assimilação líquida. Portanto, a aplicação de CO_2 via irrigação aumentou a taxa de assimilação líquida, mas também reverteu parcialmente as respostas de plantas sob doses extremas de K_2O sobre os componentes de desenvolvimento da planta como, altura e área foliar.

4.6 Estado nutricional das plantas

Realizou-se a análise foliar em dois estádios do ciclo do meloeiro: floração (48 DAT) e final do ciclo (98 DAT). A concentração de nutrientes na folha do meloeiro, além de refletir o seu estado nutricional, evidenciou os efeitos do CO₂ e do potássio, na absorção, no acúmulo e na redistribuição dos nutrientes na planta.

As análises foliares foram realizadas para os macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), e para os micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). As Tabelas 12 e 13 apresentam os resultados da análise de variância para as concentrações desses nutrientes na folha.

Observa-se na Tabela 12 que a aplicação de CO₂ proporcionou diferenças significativas nas concentrações de macronutrientes na folha, no período de floração, exceto para as concentrações de K. As doses de potássio aplicadas influenciaram apenas a concentração de Mg ($p < 0,01$) e Fe ($p < 0,05$), com efeito significativo para o desvio da regressão, sem tendência bem definida.

Tabela 12. Análise de variância para concentração dos macronutrientes (g kg⁻¹) e micronutrientes (mg kg⁻¹) nas folhas do meloeiro aos 48 DAT, durante a floração e início de frutificação.

CAUSAS DE VARIACÃO		GL	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
QUADRADO MÉDIO (48 DAT)													
DOSES DE CO ₂		3	218,36**	0,46*	5,46	140,90**	34,94**	7,434**	166,74**	112,17	1784,79	113,15	32,14
Ef. Linear		1	0,79	1,24**	---	35,60	6,53*	2,16	104,62	---	---	---	---
Ef. Quadrático		1	643,10**	0,002	---	229,70**	26,53**	13,51**	94,83	---	---	---	---
Desvio		1	11,17	0,13	---	157,40**	71,68**	6,64*	300,78**	---	---	---	---
DOSES DE K ₂ O		3	7,34	0,10	2,70	30,44	8,40**	0,97	11,57	48,39	2744,27*	1071,59	157,26
Ef. Linear		1	---	---	---	---	17,57**	---	---	---	659,14	---	---
Ef. Quadrático		1	---	---	---	---	2,62	---	---	---	1770,66	---	---
Desvio		1	---	---	---	---	5,00*	---	---	---	5802,99**	---	---
INTERACÇÃO CO ₂ *K ₂ O		9	9,13	0,18	26,70	19,76	1,29	1,38	22,62	119,78**	657,44	764,65*	124,55
Blocos d. Estufa		12	24,83**	0,42**	44,69**	18,77	3,29**	1,62	20,83	27,32	889,79	875,14*	64,71
Resíduo		36	6,73	0,13	15,97	19,96	1,17	1,05	35,75	24,67	648,06	346,69	84,87
CV (%)		--	7,48	11,87	11,90	11,76	10,31	12,24	20,90	28,87	11,37	15,05	17,48
MÉDIA GERAL		--	34,7	3,08	33,59	37,98	10,5	8,37	28,61	17,21	223,31	123,73	52,71

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 13. Análise de variância para concentração dos macronutrientes (g kg⁻¹) e micronutrientes (mg kg⁻¹) nas folhas do meloeiro aos 98 DAT, no final do ciclo.

CAUSAS DE VARIACÃO		GL	QUADRADO MÉDIO (98 DAT)										
			N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
DOSES DE CO ₂		3	14,46	0,61**	187,88**	37,22	45,81**	9,57**	10,91	167,40	215935,22**	1264,52	373,52**
Ef. Linear		1	---	1,81**	57,40*	---	33,04**	3,51**	---	---	218407,00	---	461,31*
Ef. Quadrático		1	---	0,004	429,15**	---	25,26**	0,17	---	---	2252055,00**	---	27,98
Desvio		1	---	0,0003	77,08**	---	79,13**	25,03**	---	---	4006644,00**	---	631,28**
DOSES DE K ₂ O		3	0,84	0,07	164,02**	64,81	2,77	1,30**	15,61	166,32	15660,23	123,95	192,84
Ef. Linear		1	---	---	407,26**	---	---	3,09**	---	---	---	---	---
Ef. Quadrático		1	---	---	83,43**	---	---	0,71	---	---	---	---	---
Desvio		1	---	---	1,36	---	---	0,09	---	---	---	---	---
INT. CO ₂ x K ₂ O		9	3,24	0,10	13,71	39,69	1,94	0,28	9,11	390,29**	32669,46	2427,07	120,09
Blocos d. Estufa		12	11,34*	0,3	31,02	32,27	1,67	0,92**	54,26*	62,78	19934,62	1432,20	49,42
Resíduo		36	5,45	0,09	8,22	49,93	2,36	0,25	21,16	60,76	106111,77	1549,88	80,61
CV (%)		--	11,99	13,08	11,89	16,07	11,58	5,44	16,01	31,48	48,90	18,41	20,13
MÉDIA		--	19,42	2,32	24,11	43,96	13,26	9,15	28,72	24,76	6606,2	213,82	44,61

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

Com relação aos micronutrientes aos 48 DAT, apenas o B foi influenciado pelas doses de CO_2 ($P < 0,01$), apresentando valor médio de $28,61 \text{ mg kg}^{-1}$. O Fe foi influenciado pelas doses de K_2O ($P < 0,01$), com valor médio de $223,31 \text{ mg kg}^{-1}$. Observa-se ainda que os valores de CV para Cu (28,87%) e para B (20,90%) são considerados elevados, conforme Gomes (2000) e Banzato (1992).

Na Figura 25, observa-se que houve efeito quadrático significativo das doses de CO_2 sobre a concentração de N nas folhas ($P < 0,01$), o que permitiu um bom ajuste de uma equação de regressão ($R^2 = 0,98$), revelando que a aplicação de doses crescentes de gás carbônico através da água de irrigação proporcionou um máximo para a concentração de N na folha ($38,6 \text{ g kg}^{-1}$) para a dose estimada de $234,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de CO_2 . Também, constata-se efeito linear ($P < 0,01$) crescente das doses de CO_2 sobre a concentração de P, tanto aos 48 DAT quanto aos 98 DAT, com R^2 de 0,90 e 0,99, respectivamente.

Na floração e início de frutificação (48 DAT), a concentração média de N foi pouco maior que $30,0 \text{ g kg}^{-1}$, e a de potássio foi inferior a $50,0 \text{ g kg}^{-1}$, valores considerados adequados por Malavolta et al. (1997).

Figura 25 - Efeitos de doses de CO_2 na concentração do nitrogênio e do fósforo nas folhas do meloeiro rendilhado.

Embora o CO_2 tenha apresentado efeito significativo sobre a concentração de Ca ($P < 0,01$) aos 48 DAT, o ajuste da regressão quadrática apresentou um R^2 baixo (0,62), pois houve efeito, também significativo, do desvio da regressão, não revelando uma tendência bem definida (Figura 26). A concentração média de Ca na folha de $37,98 \text{ g kg}^{-1}$ foi inferior aos valores de $51,5 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca e $53,1 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca

encontrados por Hernández et al. (1995) e Carneiro Filho (2001), respectivamente. Entretanto, não foram constatados sintomas de deficiência de Ca.

Figura 26 - Efeitos de doses de CO_2 e de potássio aplicadas via água de irrigação na concentração de cálcio nas folhas do meloeiro rendilhado.

Nota-se que, em ambos períodos de análise foliar, o CO_2 apresentou efeito significativo sobre a concentração Mg ($P < 0,01$), embora os ajustes para regressão quadrática tenham sido baixos ($R^2 = 0,32$ e $R^2 = 0,42$), não revelando uma tendência bem definida pois, o efeito do desvio da regressão também foi significativo (Figura 27). Já o potássio mostrou, aos 98 DAT, efeito significativo sobre a concentração de Mg ($P < 0,01$), com uma tendência linear decrescente, provavelmente pela competição entre os cátions pelos sítios de absorção da planta.

Figura 27 - Efeitos de doses de CO_2 e de potássio aplicadas via água de irrigação na concentração de magnésio nas folhas do meloeiro rendilhado.

Com relação a concentração de S na folha, verificou-se efeitos significativos das doses de CO₂ aos 48 DAT e de potássio aos 48 e 98 DAT. Entretanto, pelas curvas de regressão quase horizontais (Figura 28), verifica-se pequena resposta do S a esses fatores, no entanto, o valor médio encontrado aos 98 DAT (9,15 g kg⁻¹) foi próximo do valor encontrado por Carneiro Filho (2001) aos 80 DAT (7,85 g kg⁻¹).

Figura 28 - Efeitos de doses de CO₂ e de potássio aplicadas via água de irrigação na concentração de enxofre nas folhas do meloeiro rendilhado.

Observa-se na Tabela 13 que, no final do ciclo (98 DAT), a aplicação de CO₂ influenciou significativamente as concentrações de P, K, Mg, S, Fe e Zn na folha e as doses de K₂O influenciaram apenas as concentrações de K e S.

Houve efeito quadrático significativo ($P < 0,01$) das doses de CO₂ e de K₂O sobre a concentração de K na folha aos 98 DAT, com valores de R² de 0,86 e 0,99, respectivamente (Figura 29). Isso indica que, em termos de concentração de K na folha do meloeiro, os tratamentos de K₂O foram mais importantes que os de CO₂.

Figura 29 - Efeito das doses de CO₂ e de potássio na concentração K nas folhas do meloeiro no final do ciclo.

Verifica-se que em todos os tratamentos a concentração de K foi inferior a $50,0 \text{ g kg}^{-1}$, valor considerado adequado por Malavolta et al. (1997). Na Figura 30, mostra-se que aos 98 DAT houve efeito quadrático do CO_2 sobre a concentração de Fe ($P < 0,01$) e o efeito linear sobre a de Zn ($P < 0,05$), porém ambos apresentaram baixos valores de coeficiente de determinação.

Figura 30 - Efeitos de doses de CO_2 e de potássio aplicadas via água de irrigação na concentração de ferro e de zinco nas folhas do meloeiro rendilhado.

Comparando-se as concentrações médias dos nutrientes apresentadas nas Tabelas 12 e 13, observa-se que entre a floração e a colheita houve redução na concentração dos macronutrientes primários (N, P e K) e aumento na concentração dos macronutrientes secundários (Ca, Mg e S). A maior redução de concentração foi verificada na folha para o N (44,03%), seguido do K (28,22%) e do P (24,68%), evidenciando a ocorrência de intensa redistribuição desses nutrientes das folhas para os frutos. O macronutriente secundário que mais aumentou a concentração na folha foi o Mg (26,29%), seguido do Ca (15,74%) e do S (9,31%), indicando maior tendência ao acúmulo do que à redistribuição. Quanto aos micronutrientes, o B manteve-se estável, o Zn decresceu 15,37%, o Cu, o Fe e o Mn aumentaram a concentração em 43,87%, 198,33% e 72,81%, respectivamente.

Em termos nutricionais, tanto no início da frutificação, quanto no final do ciclo, as doses de CO_2 influenciaram mais o meloeiro que as doses de K_2O , interferindo significativamente na absorção e acúmulo de N, P, Ca, Mg e S aos 48 DAT e de P, K, Mg e S aos 98 DAT. Enquanto que, as doses de potássio influenciaram apenas as concentrações de Mg e de Fe aos 48 DAT e as de K e de S aos 98 DAT. A concentração dos micronutrientes foi pouco influenciada pelos fatores estudados em ambos períodos.

4.7 Desenvolvimento da planta

4.7.1 Ciclo fenológico

O meloeiro rendilhado apresentou um ciclo fenológico de 115 dias a partir da sementeira, conforme Figura 31, que indica a duração de cada estágio da cultura em ambiente protegido e nas condições em que o experimento foi realizado. A duração desse ciclo foi semelhante ao observado por Sánchez et al. (1996) de 125 dias. Entretanto, há trabalhos que mostram ciclos mais precoces: 98 DAT (Maruyama et al., 2000), 86 DAT (Canato & Cecílio Filho, 2000), 71 dias por Coelho et al. (1999), 70 DAT (Soares et al., 1999) e 64 DAT (Sousa et al., 2000). As alterações climáticas mediante ocorrência de radiações menos intensas e de temperaturas baixas (em torno de 12°C, com mínimo de 8°C) registradas na fase inicial do meloeiro (10 DAT) podem ter contribuído para retardar o desenvolvimento e, consequentemente, prolongar o ciclo da cultura.

A sementeira foi realizada em 15 de agosto de 2001. A germinação ocorreu seis dias após a sementeira (DAS) e o transplante foi feito aos 19 DAS. Aos 18 dias após o transplante (DAT), observou-se a emissão das primeiras flores masculinas e 20 dias depois, surgiram as primeiras flores hermafroditas (38 DAT), quando efetivamente iniciou a fase reprodutiva do meloeiro.

Figura 31 - Estádios do meloeiro rendilhado durante o ciclo fenológico.

Aos 41 DAT, iniciou-se o processo diário de polinização manual por um período de 15 dias consecutivos. Os frutos começaram a se formar três dias após o início da polinização, aos 44 DAT. E, aos 91 DAT, realizou-se a primeira colheita.

4.7.2 Variáveis de Crescimento

As variáveis de crescimento analisadas revelam as condições fitométricas das plantas do meloeiro em intervalos de sete dias, acompanhando a produção de fotoassimilados em relação aos tratamentos. A altura da planta, o diâmetro de caule e a área foliar foram medidos até os 38, 59 e 80 DAT, respectivamente.

4.7.2.1 Altura da planta

Realizaram-se medidas de altura das plantas aos 10, 17, 24, 31 e 38 DAT. No início do experimento, a cultura desenvolveu pouco e teve os valores de altura estáveis, ocorrendo em seguida incrementos consideráveis com maior taxa de crescimento entre os 17 DAT e os 24 DAT.

Na Figura 32, estão representadas as variações temporais dos valores médios da altura de plantas obtidos até os 38 DAT, quando a maioria das plantas atingiu o último fio de arame da espaldeira, a 2,0 m de altura, e sofreu poda apical. Não houve diferença de altura das plantas nas cinco amostragens, apenas foi observado pequenas oscilações entre os tratamentos. Aos 38 DAT, os maiores valores de altura foram observados para as doses maiores de CO_2 (C_2 e C_3) e intermediárias de potássio (K_2 e K_3). Especificamente aos 38 DAT, obteve-se o maior valor de altura média das plantas de 2,10 m, muito superior à altura média de 1,59 m para o meloeiro 'Bônus 2', verificada por Rizzo et al. (2000), aos 45 DAT.

Observa-se na Tabela 14 que, a partir dos 17 DAT, houve efeito significativo do CO_2 e do potássio sobre a altura de plantas em todos os períodos de avaliação. Aos 10 DAT, ainda não haviam respostas de altura de planta em função das doses de CO_2 pelo fato de as aplicações terem iniciado aos 14 DAT.

Figura 32 - Variação temporal da altura média das plantas de melão em função das doses de CO₂ e de K₂O.

Não se observou interação significativa entre os fatores analisados para a variável altura.

Tabela 14. Resumo da análise de variância para altura de plantas do meloeiro em cinco períodos, com desdobramento dos efeitos de regressão.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	QUADRADO MÉDIO - Altura da Planta				
		10 DAT	17 DAT	24 DAT	31 DAT	38 DAT
DOSES DE CO ₂	3	---	15,91**	62,27*	430,01**	689,36**
Ef. Linear	1	---	0,0003	9,04	912,07**	1447,90**
Ef. Quadrático	1	---	32,37**	1,03	374,55**	333,53*
Desvio	1	---	15,36**	176,82**	3,68	286,64*
DOSES DE K ₂ O	3	2,40*	6,27**	29,49	259,26**	350,40**
Ef. Linear	1	1,38	4,90	---	11,36	14,10
Ef. Quadrático	1	5,76*	13,90**	---	731,62**	972,83**
Desvio	1	0,06	0,007	---	34,79	64,28
INT. CO ₂ x K ₂ O	9	0,36	1,33	10,91	9,98	44,57
Blocos d. Estufa	12	1,17	1,85	22,94	66,35*	59,20
Resíduo	36	0,83	1,38	14,94	29,18	50,30
CV (%)	--	11,28	9,18	8,97	5,25	3,74
MÉDIA GERAL (cm)	--	8,06	12,80	43,08	102,73	199,43

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

O crescimento de plantas em altura foi semelhante em todos os períodos de avaliação, com pequenas oscilações aos 24, 31 e 38 DAT. Aos 24 DAT, não se constatou efeito significativo para doses de potássio. Os valores do coeficiente de

variação (CV) são considerados baixos de acordo com Gomes (2000), especialmente aos 31 DAT (5,25%) e aos 38 DAT (3,74%), quando houve efeito significativo ($P<0,01$) das doses de K_2O e de CO_2 sobre a altura das plantas.

Os fatores CO_2 e K_2O apresentaram efeito linear ($P<0,01$) e quadrático ($P<0,01$), respectivamente, para a altura de plantas. As equações de regressão são mostradas na Figura 33, revelando maior relação da altura da planta com as doses de potássio ($R^2=0,94$) que com as doses de CO_2 ($R^2=0,85$), embora tenha-se constatado efeito significativo para o desvio.

Figura 33 - Altura de plantas em função das doses de CO_2 e de K_2O aos 38 DAT.

De um modo geral, em cada período medido, a variação de altura foi suave, independente da dose de CO_2 ou de K_2O . O crescimento em altura pelas plantas foi estável e uniforme até os 10 DAT, desenvolvendo rapidamente em seguida, o que pode ser atribuído ao início de estabelecimento e à adaptação das plantas ao novo ambiente após o transplântio e, também, à elevação suave, porém contínua da temperatura média. A maior taxa de crescimento foi observada entre 17 e 24 DAT, sendo a mesma da ordem de $0,138 \text{ m dia}^{-1}$.

4.7.2.2 Diâmetro de caule

Realizaram-se medidas de diâmetro de caule aos 10, 17, 24, 31, 38, 45 e 52 DAT. Observa-se na Figura 34 que o crescimento do diâmetro do caule do meloeiro no início do ciclo, para todas as doses de CO_2 e K_2O , apresentou valores

semelhantes, com maior incremento a partir de 10 DAT até os 31 DAT. Assim como para altura de planta, a maior taxa de acréscimo de diâmetro do caule ocorreu entre os 17 DAT e 24 DAT, com taxa de crescimento de 2,48 mm por semana.

Observa-se uma pequena variação do diâmetro caule em decorrência das doses de K_2O e de CO_2 até os 24 DAT, a partir daí as respostas do meloeiro às doses crescentes de CO_2 foram lineares, diferente do ocorrido para as doses de potássio, que apresentaram resposta quadrática, com maiores valores para plantas submetidas às doses K_2 e K_3 , havendo leve destaque dessa última.

Os valores de CV foram considerados baixos ($\leq 6,72\%$) em todo o período de avaliação do diâmetro do caule. O efeito significativo do K_2O apenas se manifestou a partir dos 24 DAT, exceto para as medidas feitas aos 48 DAT. Não houve efeito significativo do CO_2 sobre o diâmetro do caule aos 48 DAT e 52 DAT.

Figura 34 – Evolução do crescimento do diâmetro do caule do meloeiro em função das doses de CO_2 e de K_2O .

Em todos os períodos avaliados, houve efeito de CO_2 , exceto aos 17 DAT (três dias após a primeira aplicação de CO_2 via irrigação). Aos 52 DAT, período da última avaliação, o menor valor de diâmetro do caule (9,78 mm) foi encontrado para as menores doses dos fatores estudados (C_0K_1), enquanto que o maior diâmetro (12,22 mm) foi obtido para a combinação C_3K_3 . O diâmetro médio geral foi 10,83 mm. O resumo da análise de variância mostra que houve influência dos fatores estudados ($P < 0,01$) para o diâmetro do caule (Tabela 15).

Tabela 15. Resumo da análise de variância para diâmetro do caule do meloeiro com desdobramento dos graus de liberdade para regressão.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO - Diâmetro do Caule						
		DAT						
		10	17	24	31	38	45	52
DOSES DE CO ₂	3	0,225**	0,846**	3,334**	0,945*	0,198	1,258**	0,605
Ef. Linear	1	0,055	0,597*	7,992**	2,710**	---	0,372*	---
Ef. Quadrático	1	0,522**	1,902**	0,649	0,110	---	0,401*	---
Desvio	1	0,099	0,041	1,360*	0,015	---	3,001**	---
DOSES DE K ₂ O	3	0,136	0,351	0,807*	2,867**	0,355	0,263*	1,499**
Ef. Linear	1	---	---	0,014	6,393**	---	0,061	0,074
Ef. Quadrático	1	---	---	2,365**	1,716*	---	0,590*	4,399**
Desvio	1	---	---	0,042	0,493	---	0,137	0,026
INT. CO ₂ x K ₂ O	9	0,027	0,018	0,125	0,139	0,046	0,179	0,088
Blocos d. Estufa	12	0,042	0,062	0,725**	0,651*	0,211	0,079	0,366
Resíduo	36	0,050	0,125	0,250	0,314	0,210	0,084	0,233
CV (%)	--	5,92	6,72	6,46	5,98	4,72	2,90	4,45
MÉDIA GERAL (cm)	--	3,77	5,26	7,74	9,37	9,72	9,99	10,83

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

Valores semelhantes de altura média da planta (2,07 m) e de diâmetro do caule (0,99 cm) foram observados por Bhella (1985) ao aplicar 140 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando irrigação por gotejamento. Por outro lado, Ismail & Rahmani (2000), em Kuala Lumpur - Malásia, obtiveram valores inferiores de altura (1,65 m) e diâmetro do caule (1,0 cm), ao cultivarem melão cv. Bridie em "bags" e fertirrigado quatro vezes ao dia.

4.7.2.3 Área foliar

Para estimar a área foliar (AF) de plantas submetidas a cada tratamento, com duas repetições, primeiramente obteve-se um fator de correção de forma. Mediu-se o maior comprimento e a maior largura de 231 folhas, destacadas de plantas da bordadura e calculou-se a área do retângulo correspondente. Em seguida, determinou-se a AF dessas mesmas folhas utilizando um medidor de AF de mesa LI-3100 (Li-Cor) e os valores de AF obtidos foram relacionados às áreas

retangulares resultantes das medidas lineares, definindo uma equação de regressão linear com alto ajuste ($R^2=0,99$) com o respectivo fator de correção (Figura 35).

Figura 35 - Relação entre área foliar do meloeiro medida pelo LI-3100 e área do retângulo resultante das medidas de comprimento e largura da folha.

Nas estufas, medidas do maior comprimento e da maior largura de folhas de duas plantas em cada parcela foram tomadas aos 10, 17, 24, 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73 e 80 DAT. Com base nos resultados obtidos e no fator de correção, estimou-se a AF em cada período de avaliação.

Considerando área foliar máxima obtida no período reprodutivo do meloeiro (floração/frutificação), mais especificamente aos 52 DAT, constatou-se superioridade da AF encontrada em relação AF de $0,42 \text{ m}^2$ obtida por Rizzo & Braz (2001) e de $0,36 \text{ m}^2$ obtida por Maruyama et al. (2000), para o mesmo período e híbrido (Bônus 2).

Em outros períodos, Acock et al. (1990) encontraram AF de $0,0164 \text{ m}^2$ aos 24 DAT e de $0,1421 \text{ m}^2$ aos 35 DAT, valores também inferiores aos obtidos neste trabalho em períodos equivalentes, de $0,1327 \text{ m}^2$ (24 DAT) e de $0,3743 \text{ m}^2$ (31 DAT). Estes resultados podem ser um indicio de desenvolvimento vegetativo excessivo do meloeiro.

A variação média de AF em função dos tratamentos é mostrada na Figura 36, onde percebe-se maior diferenciação de resposta ao CO_2 a partir dos 31 DAT e ao potássio a partir dos 38 DAT. Observou-se, também, maiores efeitos das doses

O tratamento C_3K_3 proporcionou a máxima AF de 1,693 m^2 , aos 52 DAT. Em termos de índice de área foliar (IAF), essa área correspondeu ao IAF de 5,13 $m^2 m^{-2}$, valor superior ao IAF de 4,64 $m^2 m^{-2}$ encontrado por Sánchez et al. (1996) aos 125 DAT.

Figura 36 – Valores de área foliar (AF) do meloeiro para doses de CO₂ e de potássio.

A Tabela 16 apresenta o resumo da análise de variância da área foliar até os 52 DAT, revelando que tanto o CO₂, quanto o potássio influenciaram significativamente a AF em todas as avaliações.

Nota-se que, em todos os períodos analisados, não houve efeito significativo da interação entre tratamentos sobre a área foliar. Pontos máximos ocorreram aos 52 DAT e 59 DAT, diminuindo a seguir, devido, principalmente, às podas contínuas após a 3ª folha de hastes laterais e da redução da taxa de crescimento da planta, observada na frutificação. Nesse período, modelos linear e quadrático foram ajustados para os efeitos de CO₂ e de K₂O, explicando 95,0% e 99,9% dos resultados, respectivamente (Figura 37).

Tabela 16. Resumo do quadro da análise de variância da área foliar em função das doses de CO₂ e de potássio, com desdobramento dos graus de liberdade para a regressão.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO - Área Foliar							
		Dias após o transplantio							
		10	17	24	31	38	45	52	
DOSES DE CO ₂	3	---	5,4421**	9,6561**	368,4711**	496,7182**	2854,6319**	2007,8632**	
Ef. Linear	1	---	6,0000**	20,9963**	652,5134**	1061,7704**	298,8319**	4948,3743**	
Ef. Quadrático	1	---	8,2740**	7,1514*	422,2960**	423,5967**	5071,2881**	929,4247**	
Desvio	1	---	2,0522**	0,8205	30,6038**	4,7874	2515,4881	145,7907	
DOSES DE K ₂ O	3	0,0877**	1,8092**	5,7798**	13,3075*	232,6318**	483,9549*	814,0922*	
Ef. Linear	1	0,1069*	0,3041	0,1207	22,6820*	18,8619	109,8306	173,4491	
Ef. Quadrático	1	0,1548**	4,8890**	16,2909**	16,0813*	670,0434**	1281,1236**	2266,0123**	
Desvio	1	0,0015	0,2346	0,9277	1,1592	8,9900	906,9993*	28,1511*	
INT. CO ₂ x K ₂ O	9	0,0031	0,0309	0,2929	3,2207	13,2254	11,6552	28,9071	
Blocos d. Estufa	12	0,0136	0,3134	0,9463	9,0686*	16,6368	0,3540	75,7182	
Resíduo	36	0,0163	0,1688	1,0053	3,5676	14,4251	122,1199	60,5893	
CV (%)	--	11,9900	10,1600	7,5600	5,0400	4,8500	8,1200	5,3200	
MÉDIA GERAL (m ²)	--	0,0106	0,0404	0,1327	0,3745	0,7832	1,3379	1,4622	

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

Figura 37 - Curvas de regressão para área foliar aos 52 DAT em função das doses de CO₂ e de potássio.

Aos 52 DAT, a AF apresentou média geral de 1,462 m², valor máximo de 1,69 m² para o tratamento C₃K₃ e valor mínimo de 1,268 m² para o tratamento C₀K₁, sem a adição de CO₂.

A AF média foi superior à obtida por Canato & Cecílio Filho (2000), de 0,42 m², aos 86 DAT. Entretanto, esta AF foi inferior a encontrada por Knavel (1988) de 2,79 m² para a cv. Mainstream, também aos 86 DAT. Nesse mesmo período, observou-se igual tendência de resultados para o índice de área foliar (IAF) que apresentou o maior valor de 5,02 m²m⁻² para o tratamento C₃K₃ e o menor valor de 3,84 m² para C₀K₁, ou seja, para a menor dose de potássio e sem adição de CO₂.

4.8 Aspectos produtivos

Todos os frutos das plantas úteis foram colhidos entre 91 DAT e 98 DAT, quando apresentaram os sinais de maturação fisiológica, teor de sólidos solúveis em torno de 11 °Brix, cor acinzentada e rendimento completo do fruto e ao redor do pedúnculo (Figura 38).

Figura 38 - Fruto de melão fisiologicamente maduro

Após a colheita todos frutos foram pesados individualmente em balança digital com precisão de 5,0 g.

4.8.1 Número e peso médio dos frutos

Com base nos pesos de frutos de melão determinados logo após as colheitas, verificou-se ocorrência de grande variação entre pesos de frutos de um mesmo tratamento. No experimento como um todo, o peso de frutos variou de 200 g a 1550 g. Desta forma, optou-se por calcular a frequência de distribuição de frutos de melão, para reduzir margens de erro que variações dessa magnitude poderiam causar às estimativas de componentes de produção como número e peso de fruto e, conseqüentemente, à estimativa da produtividade comercial.

4.8.1.1 Distribuição de frequência de frutos

Os frutos colhidos em cada tratamento foram distribuídos em seis classes de frequência, definidas por faixas de peso de 200 g. No limite inferior, agrupou-se frutos com menos de 550 g (peso comercial mínimo) e no superior, frutos com até 1550 g (valor aproximado do maior peso de fruto observado).

Em termos de distribuição de frequência de frutos, apresenta-se na Tabela 17 respostas do meloeiro às diferentes doses de potássio e de gás carbônico aplicadas através da irrigação. Nota-se que as menores frequências de frutos na classe de peso não comercial (< 550 g) foram obtidas para as maiores doses de CO₂ (C₂ e C₃) e de K₂O (K₃ e K₄). Observou-se também que as maiores frequências de frutos não comerciais ocorreram para a dose C₀, ou seja, no ambiente sem adição de CO₂.

Quanto ao potássio, verifica-se que as doses de K₁ e K₄ proporcionaram o menor número de frutos (391) e as maiores porcentagens de frutos defeituosos (7,9% e 6,4%, respectivamente). Já as doses K₂ e K₃ apresentaram melhor desempenho, com apenas 3,4% e 3,1% de frutos defeituosos, respectivamente.

Tabela 17. Distribuição de frequência do peso de frutos de melão em função das doses de potássio e de gás carbônico.

CLASSES (g fruto ⁻¹)	FREQUÊNCIA - C ₀ (%)				FREQUÊNCIA - C ₁ (%)				FREQUÊNCIA - C ₂ (%)				FREQUÊNCIA - C ₃ (%)			
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
< 550)	20,5	31,1	21,8	28,8	10,6	17,2	18,4	28,4	25,7	18,5	9,5	9,9	24,8	18,1	3,3	8,1
[550-750)	18,9	32,0	30,0	34,0	27,7	30,3	30,3	36,7	32,1	24,3	25,7	40,6	31,4	35,2	20,0	19,5
[750-950)	25,3	19,4	14,6	23,4	42,6	28,3	20,2	17,4	28,4	30,1	34,3	29,7	27,6	29,5	35,6	42,5
[950-1150)	22,9	13,6	11,8	8,5	10,6	11,1	19,3	13,8	11,9	17,5	19,1	16,8	9,5	11,4	34,4	17,2
[1150-1350)	9,6	4,9	13,6	3,2	6,4	10,1	6,4	2,8	1,8	7,8	8,6	2,0	4,8	4,8	3,3	12,6
[1350-1550)	3,6	1,0	1,8	2,1	2,1	3,0	5,5	0,9	0	1,9	2,9	1,0	1,9	0,9	3,3	0
NTF/TRAT	83	103	110	94	94	99	109	109	109	103	105	101	105	105	90	87
NTFD	9	3	5	8	8	3	4	6	6	3	2	4	8	5	5	7
PMF (g)	706,4	781,2	653,0	850,1	805,2	804,2	801,0	709,4	703,3	792,8	851,4	774,0	711,5	749,8	898,9	868,2
DESVIO PADRÃO (g)	248,2	307,5	270,1	227,9	227,9	270,8	242,1	226,0	213,3	252,4	236,3	200,6	250,1	239,3	186,8	210,9
NTF/C		390				411				418			387			
NTFD/C		25 (6,4%)				21 (5,1%)				15 (3,6%)			25 (6,5%)			

em que:

NTF/Trat – número total de frutos por tratamento (44 plantas);

NTFD – número total de frutos defeituosos;

PMF – peso médio do fruto;

NPL – número de plantas;

NTF/C – número total de frutos por dose de CO₂;

NTFD/C – número total de frutos defeituosos por dose de CO₂.

Observa-se na Figura 39 que o número de frutos comerciais produzidos aumentou com as doses crescentes de K_2O e de CO_2 , sendo C_2K_3 a combinação que resultou no maior número de frutos comerciais.

Figura 39 - Número médio de frutos comerciais de melão por parcela de 11 plantas.

Considerando apenas o CO_2 , verifica-se que plantas submetidas à dose C_2 , produziram o maior número de frutos (418) e o menor percentual de frutos defeituosos (3,6%). As doses extremas desse gás, C_0 (sem adição de CO_2) e C_3 (maior dose) produziram menor número de frutos (390 e 387, respectivamente), além de apresentarem as maiores porcentagens de frutos defeituosos (6,4% e 6,5%, respectivamente).

Nota-se superioridade das doses intermediárias de CO_2 (C_1 e C_2) em relação às demais. Apesar dessa constatação, a dose C_3 , quando combinada com as maiores doses de potássio (K_3 e K_4), proporcionou a obtenção de frutos mais pesados (Figura 40). Entretanto, também observou-se menor número total de frutos para a dose C_3 , fato que pode ter contribuído com o ganho de peso desses frutos. O contrário ocorreu para a dose C_2 , que não se destacou pela produção de frutos mais pesados, mas pelo maior número de frutos, pelo menor percentual de frutos defeituosos e pela baixa frequência de frutos com peso inferior a 550 g.

Embora a dose de CO_2 de 301,8 kg ha⁻¹ não tenha se destacado pela produção dos frutos mais pesados, a mesma apresentou o maior número total de frutos, o menor número de frutos defeituosos e baixa frequência de frutos com peso inferior a 550 g.

Figura 40 – Peso médio de frutos comerciais de melão em função dos tratamentos.

Apresenta-se na Tabela 18 a análise de variância para o número e para o peso de frutos comerciais. Verificou-se efeito quadrático significativo ($P<0,01$) das doses de CO₂ e de K₂O sobre o número de frutos, porém não houve interação significativa entre esses fatores.

Tabela 18. Resumo da análise de variância para número e peso médio de frutos comerciais, com desdobramento dos graus de liberdade da regressão.

CAUSAS DE VARIÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO	
		Número de frutos	Peso de frutos (g)
DOSES DE CO ₂	3	54,630**	1004,283
Ef. Linear	1	72,924**	---
Ef. Quadrático	1	85,696**	---
Desvio	1	5,271	---
DOSES DE K ₂ O	3	48,753**	15808,357 **
Ef. Linear	1	7,102	17808,294 **
Ef. Quadrático	1	136,987**	24077,932 **
Desvio	1	2,170	5548,843 *
INT. CO ₂ x K ₂ O	9	4,826	344,150
Blocos d. Estufa	12	1,572	2347,192
Resíduo	36	3,166	2017,494
CV (%)	--	9,31	5,23
MÉDIA	--	19,12	859,01

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

Com relação ao peso médio do fruto, houve efeito significativo apenas para as doses de potássio ($P < 0,01$), indicando que as variações da produtividade comercial podem ser atribuídas, principalmente, ao número de frutos comerciais produzidos. As doses de potássio afetaram significativamente o peso comercial médio de frutos seguindo uma tendência quadrática, sendo que o maior valor (897,9 g) foi proporcionado pela dose K_3 para todas as doses de CO_2 .

Pinto (1997) encontrou efeito significativo do CO_2 tanto para o número de frutos comerciais com aumento de 14,35%, quanto para o peso médio dos frutos com aumento de 9,38%.

4.8.2 Produtividade de frutos

4.8.2.1 Produtividade total

Os valores médios de produtividade total do meloeiro rendilhado, obtidos para as diferentes doses de CO_2 e de potássio aplicadas através da irrigação (Figura 41). Considerando-se a menor produtividade obtida com o tratamento C_0K_1 (sem adição de CO_2) e a maior produtividade para o tratamento C_2K_3 (adição de 301,8 $kg\ ha^{-1}$ de CO_2) é possível verificar um acréscimo de 30,9% na produtividade total.

Independente da dose de CO_2 , as maiores produtividades foram obtidas para a dose de potássio K_3 (300 $kg\ ha^{-1}$). Adicionalmente, percebe-se que um acréscimo de 11,1% na produtividade total, ao passar de 55,42 $t\ ha^{-1}$ (sem adição de CO_2) para 61,57 $t\ ha^{-1}$ (com adição de 301,8 $kg\ ha^{-1}$ de CO_2).

Figura 41 - Média da produtividade total de melão para as doses de K_2O e CO_2 .

Em média, ocorreu um acréscimo de 10,4% na PT para a dose C_2 em relação ao tratamento (C_0) sem CO_2 . Para todas as doses de K_2O obteve-se maior produtividade quando combinadas com a dose C_2 que, ao ser combinada à dose K_3 de K_2O resultaram no incremento de 16,6% na PT, em relação ao tratamento C_2K_1 .

A análise de variância para PT (Tabela 19) revelou efeito do CO_2 e do K_2O ($P < 0,01$) sobre o meloeiro, porém sem interação entre os fatores ($P > 0,05$).

Tabela 19. Resumo da análise de variância para produtividade total e comercial de melão com desdobramento das regressões.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO - Produtividade	
		Total	Comercial
DOSES DE CO_2	3	87,769**	257,487**
Ef. Linear	1	63,978	364,676**
Ef. Quadrático	1	198,584**	395,168**
Desvio	1	0,744	12,620
DOSES DE K_2O	3	164,961**	468,300**
Ef. Linear	1	3,642	0,070
Ef. Quadrático	1	480,102**	1349,155**
Desvio	1	11,139	55,675
INT. $CO_2 \times K_2O$	9	3,949	30,640*
Blocos d. Estufa	12	50,377*	7,796
Resíduo	36	19,500	12,459
CV (%)	--	8,20	7,81
MÉDIA ($t\ ha^{-1}$)	--	53,83	45,20

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

Pinto (1997) encontrou resultados semelhantes de PT para o meloeiro amarelo aplicando $50\ kg\ ha^{-1}$ de CO_2 via irrigação, em condições de campo e de estufa, cujo efeito significativo e positivo do CO_2 em relação à testemunha (sem CO_2) implicou num ganho de PT de 22,9% em condições de campo e de 27,3%, em ambiente protegido. Já Hartz & Holt (1991) não observaram efeito do CO_2 aplicado via irrigação sobre a produção de abóbora.

Mavrogianopoulos et al. (1999) verificaram aumento de até 29% na produtividade do meloeiro com incremento na concentrações de CO_2 para $1200\ \mu mol\ mol^{-1}$, relativamente a menor concentração $400\ \mu mol\ mol^{-1}$. Esse incremento foi atribuído ao aumento no tamanho (13%) e no número de frutos (17%).

Aplicando-se análise de regressão múltipla para as doses de K_2O e de CO_2 , constataram-se efeitos linear e quadrático significativos (Tabela 20).

Tabela 20. Análise de variância da regressão para produtividade total do meloeiro.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QM	F
MODELO	5	37,155	33,243**
Resíduo	10	1,118	
PARÂMETROS	VARIÁVEL	VALOR	VALOR "t"
B_0	Constante	44,235	46,451**
B_1	CO_2	$4,125 \times 10^{-2}$	7,373**
B_2	K_2O	$6,110 \times 10^{-2}$	-10,232**
B_3	$(CO_2)^2$	$-7,294 \times 10^{-5}$	-6,736**
B_4	$(K_2O)^2$	$-8,693 \times 10^{-5}$	-10,469**
B_5	$CO_2 \times K_2O$	$-6,697 \times 10^{-6}$	-0,903

R^2 ajustado = 0,9149; **significativo ao nível de 1% de probabilidade

A Equação 11 representa o modelo de regressão múltipla ajustado para produtividade total, com $R^2 = 0,92$, significativo a 1% de probabilidade.

$$PT = 44,24^{**} + 4,13 \times 10^{-2}^{**} + 6,11 \times 10^{-2} K^{**} - 7,29 \times 10^{-5} C^2^{**} - 8,69 \times 10^{-5} K^2^{**} - 6,70 \times 10^{-6} C.K \quad (11)$$

em que:

PT - produtividade total de frutos ($t \text{ ha}^{-1}$);

C - dose de CO_2 ($kg \text{ ha}^{-1}$);

K - dose de K_2O ($kg \text{ ha}^{-1}$).

Pela equação de regressão, estima-se uma produtividade total máxima de frutos de melão de $60,1 t \text{ ha}^{-1}$ com a aplicação de $341,12 kg \text{ ha}^{-1}$ de K_2O e $267,10 kg \text{ ha}^{-1}$ de CO_2 . A representação gráfica da Equação 11 corresponde a uma superfície de resposta de três dimensões (Figura 42).

As linhas da superfície, na direção dos eixos do K_2O e do CO_2 , possuem, inicialmente, maior inclinação positiva que diminui progressivamente até atingir zero. A partir daí, a inclinação torna-se negativa, indicando possível redução na produtividade total de frutos de melão, quando doses dos fatores excederam o valor ótimo para o ponto de máxima produtividade.

Figura 42 – Superfície de resposta da produção total de frutos de melão em função das doses de CO_2 e de potássio.

Outra superfície de resposta, representada por um gráfico de contorno com linhas concêntricas denominadas curvas de isoproduto ou isoquantas (Figura 43) indicam as possíveis combinações de K_2O e CO_2 que resultam na mesma produtividade do meloeiro rendilhado.

Figura 43 - Curvas de isoproduto e região de produção racional para produtividade total do meloeiro.

Observa-se que as isoquantas são convexas em relação à origem, ou seja, doses crescentes de K_2O substituem doses cada vez menores de CO_2 e vice-versa. Esse fato introduz o conceito de substituição de fatores, isto é, CO_2 e K_2O podem se substituir na produção de melão. A variação na declividade das isoquantas ao longo de uma mesma linha reta, traçada a partir da origem, sugere que a combinação dos fatores varia com o nível de produtividade esperado. Assim, a combinação econômica de K_2O e de CO_2 , para uma produtividade de 30 t ha^{-1} , é diferente daquela para 50 t ha^{-1} .

Percebe-se a mesma taxa marginal de substituição pelas duas isóclinas, linhas que unem os pontos de cada isoquanta, onde as inclinações das linhas tangentes são iguais e, sobre cada uma dessas linhas, para qualquer nível de produção.

4.8.2.2 Produtividade comercial

A produtividade comercial do meloeiro (PC) foi estimada com base na média ponderada de pesos médios obtidos a partir dos resultados da distribuição de frequência de peso dos frutos (Tabela 17). Os valores médios da PC em função das doses de CO_2 e K_2O estão representados na Figura 44.

Relativamente ao efeito do CO_2 , as maiores médias de PC foram obtidas com a dose de C_2 , exceto quando esta foi combinada com a menor dose de potássio (C_2K_1). Considerando as plantas do ambiente protegido que recebeu a dose C_2 observa-se que o tratamento C_2K_3 apresentou incremento de 37,5% na PC, quando comparado ao tratamento C_2K_1 . Considerando-se os valores médios gerais de PC correspondentes às doses de CO_2 C_0 ($39,7 \text{ t ha}^{-1}$) e C_2 ($49,2 \text{ t ha}^{-1}$), obteve-se um acréscimo na PC de 23,9%.

Considerando-se o efeito do potássio, registrou-se maiores valores de PC para plantas submetidas à dose K_3 (300 kg ha^{-1}), que em média proporcionou acréscimos na PC da ordem de 29,2% se comparada a dose K_1 (50 kg ha^{-1}). Considerando-se os valores médios gerais de PC correspondentes às doses de K_2O K_1 ($40,8 \text{ t ha}^{-1}$) e K_3 ($52,7 \text{ t ha}^{-1}$), obteve-se um acréscimo na PC de 29,2%.

A menor PC média (33,1 t ha⁻¹) foi obtida com tratamento C₀K₄ (sem adição de CO₂ e maior dose de K₂O) e a maior PC média (57,2 t ha⁻¹) com o tratamento C₂K₃, o que correspondeu a um acréscimo na PC da ordem de 72,8%.

Figura 44 - Valores médios de produtividade comercial do meloeiro (PC) em função das doses de CO₂ e de potássio.

Os resultados da análise de variância (Tabela 21) mostram efeito das doses de CO₂ e de K₂O para a PC, porém sem interação significativa.

Tabela 21. Resumo da análise de variância da regressão para produtividade comercial.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QM	F
MODELO	5	111,428	19,848**
Resíduo	10	5,614	---
PARÂMETROS	VARIÁVEL	VALOR	VALOR "t"
B ₀	Constante	32,285	14,97**
B ₁	CO ₂	5,068x10 ⁻²	4,00**
B ₂	K ₂ O	8,910x10 ⁻²	6,59**
B ₃	(CO ₂) ²	-1,029x10 ⁻⁴	-4,20**
B ₄	(K ₂ O) ²	-1,458x10 ⁻⁴	-7,75**
B ₅	INT. CO ₂ x K ₂ O	3,875x10 ⁻⁵	2,31*

R² ajustado = 0,85 *significativo ao nível de 5% de probabilidade; **, ao nível de 1% de probabilidade

A Equação 12 representa o modelo de regressão múltipla ajustado para produtividade comercial com $R^2=0,85$ ($P<0,01$), mostrando que 84,74% da variação total da produtividade comercial de frutos foi explicada pela regressão múltipla representada pela Figura 45.

$$PC = 32,29 + 5,07 \times 10^{-2} C + 8,91 \times 10^{-2} K - 1,03 \times 10^{-4} C^2 - 1,46 \times 10^{-4} K^2 - 3,87 \times 10^{-5} C \cdot K \quad (12)$$

em que:

PC - produtividade total de frutos ($t \text{ ha}^{-1}$);

C - dose de CO_2 (kg ha^{-1});

K - dose de K_2O (kg ha^{-1}).

Pela regressão, estimou-se a produtividade comercial máxima de $55,64 t \text{ ha}^{-1}$ com a aplicação de $347,03 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O e $311,67 \text{ kg ha}^{-1}$ de CO_2 . A Figura 46 mostra a região racional de produtividade comercial.

Em estufa, Pinto (1997) obteve a maior produtividade comercial de melão amarelo ($23,68 \text{ kg ha}^{-1}$) com a aplicação de 50 kg ha^{-1} de CO_2 e 180 kg ha^{-1} de K_2O .

Figura 45 – Superfície de resposta da produtividade comercial do meloeiro em função das doses de CO_2 e de potássio.

Figura 46 - Curvas de isoproducto e região de produção racional para produtividade comercial do meloeiro.

Ao aplicar a combinação de 50 kg ha^{-1} de CO_2 e de 180 kg ha^{-1} de K_2O , Pinto (1997) conseguiu aumentos na produtividade comercial de melão amarelo da ordem de 50,5% em condições de campo aberto e atribuiu esse efeito à maior produção de número de frutos e de frutos com maior peso.

Araújo (2002) encontrou efeito significativo do CO_2 , aplicado via irrigação, na produtividade da abobrinha e no número médio de frutos. Outros autores, utilizando água carbonatada, também verificaram aumento na produtividade: 30% em pepino (Ibrahim, 1992), 10% em pimentão (Guri, 1999) e 8,7% em tomate (Cararo, 2000). Embora sendo em espécies diferentes e, os resultados encontrados por esses autores, mostram tendências semelhantes às deste trabalho: ao se comparar a produtividade comercial do meloeiro sob o tratamento C_0K_4 (sem adição de CO_2) com C_2K_3 , constata-se um incremento de 72,3%. Fixando a melhor dose de potássio, K_3 , tem-se um aumento de produtividade comercial de 15% para a dose C_2 em relação a dose C_0 .

4.8.2.3 Produtividade não comercial

A produção não comercial, obtida pela diferença entre estimativas de produtividade total e comercial (Figura 47), foi menor para as plantas submetidas

aos tratamentos C_2K_3 e C_3K_3 , resultantes da combinação entre a dose K_3 (**300** kg ha^{-1} de K_2O) e as maiores doses C_2 e C_3 (301,8 kg ha^{-1} e 460,4 kg ha^{-1} de CO_2), consequentemente esses tratamentos proporcionaram o melhor aproveitamento de frutos colhidos.

Figura 47 - Valores estimados de produtividade não comercial do meloeiro.

Verifica-se ainda que a maior produção não comercial (20,34 t ha^{-1}) ocorreu para a combinação C_0K_4 , menor dose de CO_2 e maior dose de K_2O .

Maruyama et al. (2000) atribuiu a maior produção do híbrido Bônus 2 à maior área foliar (floração e colheita) e ao maior número de frutos por planta, ao observar que o maior valor dessa variável foi obtido em plantas com maior área foliar, o que poderia estar diretamente relacionado à nutrição das plantas, sugerindo uma diferenciação na absorção de nutrientes.

4.8.3 Índice de aproveitamento comercial da produção

Verifica-se pela Figura 48 que o maior aproveitamento comercial da produção de melão, ocorreu para o tratamento C_2K_3 , resultante da combinação entre 308 kg ha^{-1} de CO_2 e 308 kg ha^{-1} de potássio e, a menor eficiência, para o tratamento C_0K_4 resultante da combinação entre 600 kg ha^{-1} de potássio (maior dose) com a dose zero de CO_2 , indicando que esse tratamento foi prejudicial à produção de frutos comerciais e que a presença de CO_2 pode amenizar danos causados por uma dose excessiva de potássio.

Figura 48 - Valores médios da relação entre a produção comercial e a produção total de melão (IAC) em função dos tratamentos de K₂O e de CO₂.

Já a Figura 49 mostra claramente que a dose K₃ foi superior às demais, tanto em termos de produtividade comercial, quanto em aproveitamento da produção.

Figura 49 - Comparação das produtividade comercial (PC) e produtividade não comercial (PNC) em função das doses de potássio.

Existe na literatura resultados divergentes sobre o efeito da aplicação de água carbonatada na produção das culturas. Storlie & Heckman (1996) reconhecem que o uso extensivo dessa prática não tem sido recomendado devido às poucas pesquisas realizadas em campo e ao desconhecimento dos mecanismos de ação do CO₂, que promovem resultados diversos, dependendo das condições ambientais.

4.9 Características físicas dos frutos comerciais

Em laboratório, determinou-se as características físicas e químicas dos frutos um dia após a colheita.

4.9.1 Diâmetro longitudinal e transversal

Os valores médios de diâmetro longitudinal e transversal encontram-se na Figura 50. Observa-se que os valores de diâmetro longitudinal foram muito próximos entre os tratamentos de CO_2 , com clara superioridade dos valores obtidos para as plantas submetidas à dose K_3 de K_2O .

Figura 50 - Valores médios de diâmetros longitudinal e transversal dos frutos.

Uma tendência pouco definida foi observada para o diâmetro transversal dos frutos, em relação às doses de CO_2 , embora possa ser observada uma tendência de aumento quadrático do diâmetro transversal em função das doses de K_2O , obtendo-se o maior valor para a dose K_3 de K_2O . A análise de variância indicou efeito quadrático significativo do K_2O nos diâmetros longitudinal e transversal dos frutos e não indicou efeito significativo do CO_2 (Tabela 22).

Tabela 22. Resumo da análise de variância para diâmetro longitudinal e transversal dos frutos (mm) dos frutos de melão.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO	
		Diâmetro longitudinal	Diâmetro transversal
DOSES DE CO ₂	3	244,443	174,510
Ef. Linear	1	1,449	45,101
Ef. Quadrático	1	365,473	207,950
Desvio	1	366,407	270,478
DOSES DE K ₂ O	3	80,066*	71,147*
Ef. Linear	1	36,346	22,410
Ef. Quadrático	1	202,182*	189,222*
Desvio	1	1,670	1,810
INT. CO ₂ x K ₂ O	9	37,365*	28,644**
Blocos d. Estufa	12	14,014	16,939
Resíduo	36	16,516	8,398
CV (%)	--	3,16	2,50
MÉDIA (mm)	--	128,50	116,09

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

Tanto para diâmetro transversal quanto para longitudinal, os maiores valores médios ocorreram nos tratamentos C₀, sem adição de CO₂.

4.9.2 Espessura e Firmeza da polpa

Apesar de não existir escala que compare e classifique os frutos quanto à firmeza e espessura da polpa, é através destas características que se identificam os frutos mais resistentes ao transporte e com maior vida pós-colheita.

Quanto à espessura da polpa, observa-se pela Figura 51 que a dose C₃ proporcionou a produção de frutos com polpa mais espessa, se comparada às demais. Em termos de firmeza da polpa, a dose C₀ (sem adição de CO₂) propiciou a obtenção de frutos com maior firmeza, 17,6 N em média, destacando-se os tratamentos resultantes de combinações de C₀ com as doses K₂ e K₄ de potássio. Não houve uma tendência clara para as variações desse parâmetro em função dos tratamentos aplicados.

Figura 51 - Valores médios de espessura e firmeza da polpa dos frutos de melão.

A análise de variância indicou efeito linear significativo do CO₂ tanto para a espessura quanto para a firmeza de fruto (P<0,05) e indicou efeito significativo do potássio (P<0,05) apenas para a espessura de polpa (Tabela 23).

Tabela 23. Resumo da análise de variância para espessura e firmeza da polpa dos frutos (mm) dos frutos de melão.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO	
		Espessura (mm)	Firmeza (N)
DOSES DE CO ₂	3	98,125*	56,614*
Ef. Linear	1	78,085*	118,855*
Ef. Quadrático	1	36,283	6,098
Desvio	1	180,006*	44,889*
DOSES DE K ₂ O	3	7,496	25,069*
Ef. Linear	1	---	63,200*
Ef. Quadrático	1	---	0,081
Desvio	1	---	11,928
INT. CO ₂ x K ₂ O	9	6,638	4,287
Blocos d. Estufa	12	6,630	3,130
Resíduo	36	10,555	4,246
CV (%)	--	8,37	22,06
MÉDIA	--	24,59	14,73

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

4.10 Características químicas dos frutos comerciais

Na Figura 52 estão representados os valores médios de acidez total do suco, teor de sólidos solúveis e pH dos frutos de melão.

Figura 52 - Valores médios de acidez total do suco, pH e teor de sólidos solúveis dos frutos de melão.

Verifica-se que a menor acidez total ocorreu para a dose C_0 de CO_2 (0,1134 mg ác. málico anidro/100 ml suco) e para a dose K_1 de K_2O (0,1174 mg ác. málico anidro/100 ml suco), com valor médio geral de 0,1237 mg ác. málico anidro/100 ml suco. A acidez total aumentou com a dose de CO_2 até C_2 , reduzindo-se em seguida, sem efeito significativo para as doses de K_2O . Quanto ao pH da polpa, observa-se que as doses de potássio praticamente não influenciaram seu valor. Já, os maiores valores de pH ocorreram para as doses C_0 e C_3 de CO_2 . A significância estatística desses efeitos estão apresentadas na Tabela 24.

Pelo resumo da análise de variância, constata-se que dentre os fatores estudados houve efeito quadrático do CO_2 sobre a acidez total titulável, sobre o teor de sólidos solúveis ($P < 0,01$) e não houve efeito do CO_2 sobre o pH, discordando de Pinto (1997), que não verificou alteração significativa dessas características químicas pela aplicação de CO_2 via irrigação.

Tabela 24. Resumo da análise de variância para as características químicas do fruto: acidez total titulável, teor de sólidos solúveis e pH da polpa.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO		
		Acidez (mg ác. málico anidro/100 ml suco)	pH	Sólidos Solúveis (°Brix)
DOSES DE CO_2	3	9,893**	0,556**	28,469**
Ef. Linear	1	3,955	0,286**	0,972
Ef. Quadrático	1	21,536**	0,008	81,817**
Desvio	1	4,188	1,375**	2,618
DOSES DE K_2O	3	4,491	0,008	3,256
Ef. Linear	1	---	0,013	2,722
Ef. Quadrático	1	---	0,008	6,247
Desvio	1	---	0,002	0,797
INT. CO_2 x K_2O	9	2,507	0,023*	2,400*
Blocos d. Estufa	12	3,206	0,011	1,209
Resíduo	36	1,979	0,008	1,098
CV (%)	--	11,37	1,47	8,92
MÉDIA	--	0,12	6,15	11,75

** e * indicam que o teste F, correspondente a esse quadrado médio, foi significativo ao nível de 1% e de 5% de probabilidade, respectivamente.

De maneira geral, os teores de sólidos solúveis encontrados neste trabalho atendem aos padrões de qualidade para comercialização, tanto para mercado interno como para externo, pois, para o mercado europeu, frutos com teores de sólidos solúveis abaixo de 9 °Brix são considerados inaptos, entre 9 e 12 °Brix são aceitáveis e os que apresentarem valores acima de 12 °Brix são considerados ótimos para a comercialização.

4.11 Eficiência do uso de água

Em termos médios, o tratamento C_2K_3 proporcionou a maior eficiência de uso de água ($19,14 \text{ kg m}^{-3}$) e o tratamento C_0K_1 , sem adição de CO_2 , condicionou a obtenção da menor eficiência de uso de água ($14,63 \text{ kg m}^{-3}$), conforme se verifica na Figura 53. Isso evidencia a importância dos fatores estudados via irrigação por gotejamento para o melão rendilhado cultivado em ambiente protegido.

Em média, a eficiência de uso de água aumentou até a dose de C_2 reduzindo suavemente para a dose C_3 de CO_2 . Esse efeito foi mais evidente para combinações com a dose K_3 de potássio, indicando que se pode economizar água na irrigação do meloeiro quando aplica-se CO_2 .

Figura 53 - Dados de eficiência de uso da água em função das doses de CO_2 .

Nota-se pela Figura 53 que a maior EUA ocorreu para o tratamento C_2K_3 e a menor eficiência para a combinação entre a maior dose de potássio com a dose zero

de CO_2 (C_0K_4), indicando que a aplicação de alta dose de K_2O sem adição de CO_2 foi prejudicial ao aproveitamento comercial da produção de frutos de melão.

Quanto ao K_2O , verificou-se um aumento na eficiência de uso de água até a dose de 300 kg ha^{-1} , que foi superior às demais para todas as doses de gás carbônico.

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o experimento foi conduzido e os resultados obtidos, foi possível chegar as seguintes conclusões:

- Houve maior efeito do CO_2 que do potássio sobre a absorção e a redistribuição de nutrientes no meloeiro, sendo que os macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S) foram mais afetados que os micronutrientes (Fe, Zn). Esse efeito foi mais evidente ao final do ciclo quando se observou temperaturas mais elevadas.
- Doses crescentes de CO_2 e de K_2O afetaram o diâmetro do caule, a altura e a área foliar das plantas de melão rendilhado;
- O número de frutos comerciais aumentou com doses crescentes de CO_2 e de K_2O , entretanto, o peso médio dos frutos foi afetado apenas pelo potássio.
- A produtividade total aumentou com as doses de CO_2 e de K_2O , até $60,10 \text{ t ha}^{-1}$ para $341,12 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O e $267,10 \text{ kg ha}^{-1}$ de CO_2 ; a produtividade comercial aumentou com as doses dos fatores, atingindo o máximo de $55,64 \text{ t ha}^{-1}$ para $347,03 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O e $311,67 \text{ kg ha}^{-1}$ de CO_2 .
- O IAC da produção aumentou com as doses de CO_2 e de K_2O , atingindo o maior valor para o tratamento C_2K_3 .
- A espessura e a firmeza da polpa foram afetadas pelo CO_2 ; diâmetros transversal e longitudinal e a espessura da polpa foram afetados pelo potássio.
- Houve efeito do CO_2 sobre a acidez total, o teor de sólidos solúveis e o pH da polpa dos frutos, porém não houve efeito do K_2O .
- A eficiência de uso de água aumentou com doses crescentes de CO_2 até C_2 e com as doses de potássio até K_3 , atingindo o máximo de $19,14 \text{ kg m}^{-3}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOCK, B.; ACOCK, M.C.; PASTERNAK, D. Interactions of CO₂ enrichment and temperature on carbohydrate productions and accumulation in muskmelon leaves. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, v.115, n.4, p.525-529, 1990.
- ALVES, D.R.B.; FURLAN, R.A.; FRIZZONE, J.A. et al. Avaliação da salinidade do solo promovida pela aplicação de CO₂ e fertilizantes via água de irrigação na cultura da alface. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas, 1998. **Anais**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.2, p.22-24.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.
- ARAÚJO, W.F. Aplicação de água carbonatada em abobrinha cultivada em solo com e sem cobertura plástica, Piracicaba, 2002. 86p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BANZATO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**, 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992, 247p.

- BASILE, G.; ARIENZO, M.; ZENA, A. Soil nutrient mobility response to irrigation with carbon dioxide enriched water. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.24, n.11/12, p.1183-1195, 1993.
- BELFORT, C.C.; HAAG, H.P.; MINAMI, K. Nutrição mineral de hortaliças - diagnóstico das carências de macronutrientes e de boro em melão (*Cucumis melo* L.). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.43, p.365-377, 1986.
- BHELLA, H.S. Muskmelon growth, yield, and nutrition as influenced by planting method and trickle irrigation. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.110, n. 6, p.793-796, 1985
- BLANCO, M.C.S.G.; GROPPPO, G.A.; TESSARIOLLI NETO, J. Melão (*Cucumis melo* L.). In: MARTINS, M.E. (Coord.) **Manual técnico das culturas**. Campinas: Ed. CATI, 1997. v.2, p.77-81.
- BRANDÃO FILHO, J.U.T.; CALLEGARI, O. Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, v.20, n.200/201, p.64-68, 1999.
- CANATO, G.H.D.; CECÍLIO FILHO, A.B. Análise de crescimento do melão rendilhado sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.249-251, 2000. Suplemento.
- CARNEIRO FILHO, J. Produção e qualidade de frutos de melão cantaloupe influenciadas pela poda e pelo tutoramento, em condições de estufa e de campo. Viçosa, 2001.102p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- CARRARO, D.C. Efeito de diferentes lâminas de água na presença e na ausência de CO₂ injetado na água de irrigação sobre a cultura do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivado em estufa. Piracicaba, 2000. 70p. Dissertação

(Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CARRIJO, O.A.; MAROUELLI, W.A.; SILVA, H.R. Manejo da água na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, v.20, n.200/201, p.45-51, 1999.

CASELLA, E.; SOUSSANA, J.F.; LOISEAU, P. Long-term effects of CO₂ enrichment and temperature increase on a temperate grass ward. I. Productivity and water use. **Plant and Soil**, v.187, n.1, p.83-89, 1996.

CHMORA, S.N.; MOKRONOSOV, A.T. The global increase of CO₂ in atmosphere: adaptive strategies in plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.41, n.5, p.768-778, 1994.

COELHO, E.F.; SOUSA, V.F.de; RODRIGUES, H.N. et al. Produtividade do meloeiro sob diferentes intervalos de irrigação e disposições de linhas laterais de gotejamento em solo arenoso coeso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.309-315, 1999.

CUENCA, R.H. **Irrigation system design, an engineering approach**. New Jersey: Oregon State University, Department of Agricultural Engineering, 1989. 350p.

CURE, J.D.; ACOCK, B. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. **Agricultural Forest and Meteorology**, v.38, n.1/3, p.127-145, 1986.

D'ANDRIA, R.; NOVERO, R.; SMITH, D.H. et al. Soil and plant nutrient modifications in response to irrigation with CO₂ enriched water on tomato. **Acta Horticulturae**, v n.335, p.557-562, 1993.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33)

DURÃO, P.L.; GALVÃO, A.C. Gás carbônico em irrigação. **Ciência Hoje**, v.19, n.110, 1995. Suplemento.

DUTRA, I.; MEDEIROS, J.F. de; PORTO FILHO, F. de; Determinação do fator de cobertura do melão cultivado sob diferentes lâminas e salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.146-151, 2000.

FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review of Plant **Physiology and Plant Molecular Biology**, v.33, p.317-345, 1982.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FILGUEIRAS, H.A.; MENEZES, J.B.; ALVES, R.E. et al. Colheita e manuseio em pós-colheita. In: ALVES, R.E. (Coord.) **Melão: Pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA comunicação para transferência de tecnologia, 2000. 43p.

FINKEL, H.J. **Handbook of irrigation technology**. Boca Raton: CRC Press, 1982, p.289-297.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. AGRIANUAL 2002: **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. São Paulo, 2000. p.410-415: Melão.

FRIZZONE, J.A.; VIEIRA, A.T.; PAZ, V.P.S. et al. Caracterização hidráulica de um tubo gotejador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.278-283, 1998.

- FURLAN, R.A. Avaliação da nebulização e abertura de cortinas na redução da temperatura do ar em ambiente protegido. Piracicaba, 2000. 146p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 14.ed. São Paulo: Nobel, 2000. 479p.
- GOMES, T.M. Efeito do CO₂ aplicado na água de irrigação e no ambiente sobre a da alface (*Lactuca sativa* L.). Piracicaba, 2001. 83p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- HALL, D.O.; RAO, K.K. **Fotossíntese**. Trad. de A. Lamberti. São Paulo: EPU, 1980. 89p. (Temas de Biologia, 10).
- HAM, J.M.; OWENSBY, C.E.; COYNE, P. et al. Fluxes of CO₂ and water vapor from a prairie ecosystem exposed to ambient and elevated atmospheric CO₂. **Agricultural Forest and Meteorology**, v.77, n.1/2, p.73-93, 1995.
- HARTZ, T.K.; HOLT, D.B. Root-zone carbon dioxide enrichment in field does not improve tomato or cucumber yield. **HortScience**, v.26, n.11, p.1423, 1991.
- HEIJ, G.; UFFELEN, J.A.M. Effect of CO₂ concentration on growth of glasshouse cucumber. **Acta Horticulturae**, n.162, p.29-36, 1984.
- HERNANDEZ, C.; BUSTOS, V. Fertirrigación del melón bajo invernadero en Tucumán. **Avance Agroindustrial**, p.29-31, out. 1995.
- IBRAHIM, A. Response of plant to irrigation with CO₂ enrichment water. **Acta Horticulturae**, n.323, p.205-214, 1993.

- IDSO S.B.; KIMBALL, B.A.; WALL, G.W. et al. Effects of free air CO₂ enrichment on the light response curve of net photosynthesis in cotton leaves. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.70, n.1/4, p.183-188, 1994.
- IDSO, K.E.; IDSO, S.B. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.69, n.3/4, p.153-203, 1994.
- ISMAIL, M.R.; RAHMANI Y. The use of rubberwood sawdust (RS): peat mix in the soilless cultivation of melon (*Cucumis melo* L.). **Acta Horticulturae**, v.450, p.149-158-36, 2000.
- JURIK, T.W.; WEBER, J.A.; GATES, D.M. Short-term effect of CO₂ on gas exchange of leaves of Bogtooth aspen (*Populus grandidentata*) in the field. **Plant Physiology**, v.75, n.4, p.1022-1025, 1984.
- KEELING, C.D.; WHORF, T.P.; PFLIT, J.V.D. International extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. **Nature**, v.375, n.6.533, p.666-670, 1999.
- KIMBALL, B.A. Carbon dioxide and Agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. **Agronomy Journal**, v.75, n.5, p.779-788, 1983.
- KIMBALL, B.A.; IDISO, S.B. Increase atmospheric CO₂: effects on crop yield, water use, and climate. **Agricultural Water and Management**, v.7, n.1, p.55-73, 1983.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 3.ed. New York: Springer-Verlag, 1995. 505p.

LOPES FILHO, F. Melão no Nordeste: importância econômica e doenças limitantes.

Agrotécnica CIBA-GEIGY, v.6, p.4-10, 1990.

LOPEZ, T.M. Cabezal de riego. In: LOPEZ, C.C. **Fertirrigation**: cultivos hortícolas y ornamentales. Madri: Mundi Prensa, 1998. p. 247-263.

LORENZO, P. Enriquecimento carbônico en los sistemas de cultivo protegidos: experiencia en sur Mediterráneo. **Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil**, v.18, p.144-146, 2000. Suplemento.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARUYAMA, W.I.; BRAZ, L.T.; CECÍLIO FILHO, A.B. Condução de melão rendilhado sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**. v.18, n.3, p.175-178. 2000.

MAUNEY, J.R.; HENDRIX, D.L. Responses of glasshouse grown cotton to irrigation with carbon dioxide-saturated water. **Crop Science**, v.28, n.5, p.835-838, 1988.

MAVROGIANOPOULOS, G.N.; SPANAKIS, J.; TSIKALAS, P. Effect of carbon dioxide enrichment and salinity on photosynthesis and yield in melon. **Scientia Horticulturae**, v.79, p.61-63, 1999.

MOORE, P.D. Potential for irrigation with carbon dioxide. **Acta Horticulture**, n.278, p.171-178, 1990.

MORISON, J.I.L.; GIFFORD, R.M. Plant growth and water use with limited water supply in high CO₂ concentrations. I. Leaf area, water use and transpiration. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.11, n.5, p.361-374, 1984.

MORTENSEN, L.M. Review: CO₂ enrichment in greenhouses crops responses. **Scientia Horticulturae**, v.33, n.1, p.1-25, 1987.

MORTENSEN, L.M.; ULSAKER, R. Effect of CO₂ concentration and light levels on growth flowering and photosynthesis of begonia x hiemalis Fotoch. **Scientia Horticulture**, v.27, n.1/2, p.133-141, 1985.

MUDRIK, V.A.; ROMANOVA, A.K.; IVANOV, B.N. Effect of increased CO₂ concentration on growth, photosynthesis, and composition of *Pisum sativum* L. plant. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.44, n.2, p.165-171, 1997.

NORBY, R.J.; GUNDERSON, C.A.; WULLSCHLEGER, S.D. et al. Productivity and compensatory responses of yellow-poplar trees in elevated CO₂. **Nature**, v.357, n.6376, p.322-324, 1992.

NORBY, R.J.; O'NEIL, E.G.; LUXMOORE, R.J. Effects of atmospheric CO₂ enrichment on the growth and mineral nutrition of *Quercus alba* seedlings in nutrient-poor soil. **Plant Physiology**, v.82, n.1, p.83-89, 1986.

PADILLA, W.G. Fertirrigación bajo condiciones de invernadero en el Ecuador. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO, Botucatu, 1997, Anais. Botucatu: UNESP; FAPESP, 1997. p.263-281.

PEREIRA, C.; MARCHI, G. **Cultivo comercial em estufas**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 118p.

PIMENTEL, A.A.M.P. **Olericultura no trópico úmido**: hortalças na Amazônia. São Paulo: Ceres, 1985. 322p.

PIMENTEL, C. **Metabolismo do carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 159p.

- PINTO, J.M. Aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em meloeiro, Piracicaba, 1997. 82p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- PINTO, J.M.; SOARES, J.M.; PEREIRA, J.R. et al. **Sistema de cultivo de melão com aplicação de fertilizantes via água de irrigação**. Petrolina: EMBRAPA, CPTASA, 1996. 24p. (EMBRAPA. CPATSA. Circular Técnica, 36)
- PINTO, J.M; SOARES, J.M; CHOUDHURY, E.N. et al. Adubação via água de irrigação na cultura do melão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.11, p.263-268, 1993.
- PIZARRO, F.C. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513 p.
- PRABHAKAR, B.S.; SRINIVAS, K.; SKULA, V. Yield and quality of muskmelon cv. Haro madhu in relation to spacing and fertilization. **Progressive Horticultural**, v.17, n.1, p.51-55, 1985.
- PUTKHAL'SKAYA, N.V. Generative development of barley at an elevated atmospheric concentration of CO₂ and varying temperature conditions. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.44, n.2, p.177-182, 1997.
- RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. p.181: Melão. (IAC. Boletim, 100)
- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. **Carta de solos do município de Piracicaba**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, 1966. 85p.

- REZENDE, F.C. Respostas de plantas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) à irrigação e ao enriquecimento da atmosfera com CO₂, em ambiente protegido. Piracicaba, 2001. 107p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- RIZZO, A.A.N.; BRAZ, L.T. Características de cultivares de melão rendilhado cultivadas em casa de vegetação. **Horticultura Brasileira**, v.19, n.3, 2001.
- RIZZO, A.A.N.; QUIJANO, F.G.; LAURA, V.A. Efeito da idade de mudas no desenvolvimento do melão rendilhado. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.468-469, 2000. Suplemento.
- ROBINSON, R.W.; DECKER-WALTERS, D.S. **Curcubits**. New York: CAB International, 1997. 226p.
- RUFTY JÚNIOR, T.W.; MACKOWN, C.T.; VOLK, R.M. Effects of altered carbohydrate available on whole-plant assimilation of 15 NO₃. **Plant Physiology**, v.89, n.2, p.457-463, 1989.
- S. GURI; O. MARFÀ; R. SAVÉ et al. Efecto de la irrigación carbónica en la producción de un cultivo de pimiento. In: CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS HORTÍCOLAS, 8., Murcia, 1999. Murcia: Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, 1999. n.26, v.3, p.465-470: Actas de Horticultura.
- SANCHÉZ, L.R.; SIRONI, J.S.; CRESPO, J.A.P. et al. Growth and nutrient absorption by musk melon crop under greenhouse conditions. In: CARPENA, R.M. (Coord.) International Symposium on water quality and quantity in greenhouse horticulture. **Acta Horticulture**, n.458, 1996. 7p.
- SCHAFFER, B.; WHILEY, A.W.; SEARLE, C. Atmospheric CO₂ enrichment, root restriction, photosynthesis, and dry-matter partitioning in subtropical and tropical fruit crops. **Hortscience**, v.34, n.6, p.1033-1037, 1999.

SENTELHAS, P.C. Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática. Piracicaba, 1998. 97p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura**: a fascinante arte de cultivar com os plásticos. 6.ed. Esteio: Guaíba, 341p. 1997.

SHANI, M. **La fertilización combinada con el riego**. Estado de Israel: Ministério da Agricultura, 1981. 36p.

SILVA, E.F.F.; BLANCO, F.F.; DUARTE, S.N. et al. Distribuição de sais no solo em vasos sob fertirrigação de alta frequência. In: WORKSHOP DE FERTIRRIGAÇÃO: flores, frutas e hortaliças, 2., Piracicaba, 2001. Piracicaba: ESALQ, 2001b. p.100-105: Artigos científicos.

SILVA, E.M.F. da Estudos sobre o mercado de frutas. São Paulo: FIPE, 1999, 373p.

SILVA, H.R.; MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. et al. **Cultivo do meloeiro para o norte de Minas Gerais**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2000. 22p. (Circular Técnica, 20).

SILVA, W.L.C.; CARRIJO, O.A.; MAROUELLI, W.A. Fertirrigação na EMBRAPA Hortaliças. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.433-440.

SLACK, G.; HAND, D.W. The effect of winter and summer CO₂ enrichment on the growth and fruit of glasshouse cucumber. **Journal for Horticultural Science**, v.60, n.4, p.507-516, 1985.

- SMITH, D.H.; MOORE, F.D.; NOVERO, R. et al. Field-grown tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**, v.83, n.5, p.911-916, 1991.
- SOARES, J.M.; BRITO, L.T.L.; COSTA, N.D. et al. Efeito de fertilizantes nitrogenados na produtividade de melão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.7, p.1139-1143, 1999.
- SOUSA, V.F. de; COELHO, E.F.; RODRIGUES, B.H.N. et al. **Cultivo do melão sob fertirrigação por gotejamento**. Parnaíba: EMBRAPA - CPAMN, 1998b.
- SOUSA, V.F. de; SOUSA, A.P. Efeitos da frequência de aplicação de N e K por gotejamento na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Revista Engenharia Agrícola**, v.17, n.3, p.36-45, 1998.
- SOUSA, V.F.; COELHO, E.F.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. et al. Eficiência de uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.183-188, 2000.
- SOUSA, V.F.; COELHO, E.F.; SOUZA, V.A.B. Frequência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.4, p.659-664, 1999.
- SOUSA, V.F.; RODRIGUES, B.R.N.; ATHAYDE SOBRINHO, C. et al. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no meio norte do Brasil**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 1999. 68p. (EMBRAPA Meio-Norte. Circular Técnica, 21).
- SOUSSANA, J.F.; CASELLA, E.; LOISEUA, P. Long-term effects of CO₂ enrichment and temperature increase on a temperate grass sward. II. Plant nitrogen budgets and root fraction. **Plant and Soil**, v.187, n.1, p.101-114, 1996.

STORLIE, C.A.; HECKMAN, J.R. Soil, plant, and canopy responses to carbonated irrigation water. **HortTechnology**, v.6, n.2, p.111-114, 1996.

TRAW, M.B.; LINDROTH, R.L.; BAZZAZ, F.A. Decline in gypsy moth (*Lymantria dispar*) performance in an elevated CO₂ atmosphere depends upon host plant species. **Oecologia**, v.108, n.1, p.113-120, 1996.

VESSEY, J.K.; HENRY, L.T.; RAPER JUNIOR, C.D. et al. Nitrogen nutrition and temporal effects of enhanced carbon dioxide on soybean growth. **Crop Science**, v.30, n.2. p.287-294, 1990.

WITTWER, S.H. **World wide status and history of CO₂ enrichment of greenhouse crops**. Boca Raton: CRC Press, 1986, v.1: Status and CO₂ sources, cap.1, p.3-15.

ZAPATA, M.N.; CABRERA, P.F.; BAÑON, S.A. et al. **El melon**. Madrid: Mundi Prensa, 1989. 174p.