



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Influência do aumento do CO₂ no crescimento inicial e nas trocas gasosas do meloeiro amarelo

Láise Ferreira de Araújo¹; Nadja Paula dos Santos Oliveira²; Rodrigo Moura e Silva³; Marlos Alves Bezerra⁴; Francislene Angelotti⁵

¹Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFC, CE, laiseferreiradearaujo@gmail.com. ²Graduanda em Biologia, UPE, Petrolina, PE, naaholiveira@hotmail.com.br. ³Graduando em Biologia, UPE, Petrolina, PE, rodrigo.moura.silva@hotmail.com. ⁴Pesquisador da Embrapa, Embrapa CNPAT, Fortaleza, CE, marlos.bezerra@embrapa.br. ⁵Pesquisadora da Embrapa, Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, francislene.angelotti@embrapa.br.

Artigo recebido em 10/09/2015 e aceito em 30/11/2015

RESUMO

Os debates sobre mudanças climáticas globais têm apresentado interesse tanto da comunidade científica como da população. Estudos apontam que até o final de 2050 a concentração de CO₂ passará dos atuais 384 ppm para 550 ppm. Diante desse cenário, o comportamento produtivo das plantas poderá ser alterado. Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento inicial e as trocas gasosas de plantas de meloeiro sob alta concentração de CO₂. O experimento foi realizado na Embrapa Semiárido (Petrolina – PE). Foram utilizadas estufas de topo aberto para cultivo das plantas e aplicação dos tratamentos: 1- Estufa com plástico lateral mais adição de CO₂ (550 ppm); 2- Estufa com plástico e CO₂ ambiente e 3- Sem plástico e CO₂ ambiente. O delineamento experimental foi em blocos, com três repetições. A irrigação e a adubação foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas da cultura. A mensuração das variáveis de crescimento foi realizada a cada cinco dias enquanto as trocas gasosas foram mensuradas no final do experimento (30 dias após o transplantio). A fotossíntese líquida e a transpiração das plantas foram maiores no tratamento com 550 ppm. Entretanto, aos 30 dias, o crescimento das plantas foi afetado negativamente, supostamente, pelo aumento da temperatura resultante do ambiente das câmaras com CO₂. De acordo com os resultados, o manejo do meloeiro terá que sofrer alterações para se adaptar às mudanças climáticas, visando continuar sendo uma ótima opção de renda para os produtores rurais da região do semiárido.

Palavras-Chave: *Cucumis melo L.*, efeito estufa, mudanças climáticas.

Effect of elevated CO₂ on initial growth and gas exchange of yellow melon

ABSTRACT

At present discussions on global climate change have shown interest to both the scientific community and the population. Studies show that by the end of 2050 the CO₂ concentration from the current 384 ppm to 550 ppm. In this scenario, the production of plants can be changed. This study aimed to evaluate the initial growth and gas exchange of plants of melon under high CO₂ concentration. The experiment was carried out at Embrapa Semi-Arid (Petrolina - PE). Open-top ovens were used for plant cultivation and application of treatment: 1. Greenhouse with further addition of side plastic CO₂ (550 ppm); 2 Greenhouse with plastic and CO₂ environment and 3- No plastic and CO₂ environment. The experimental design was in blocks with three replications. The irrigation and fertilization were performed according to the technical recommendations of the culture. The measurement of the growth variables was performed every five days and gas exchange at the end of the experiment (30 days after transplanting). Net photosynthesis and transpiration of plants were higher in the treatment with 550 ppm. However, at 30 days, plant growth was negatively affected, supposedly, by temperature increase resulting environmental chambers with CO₂. According to the study, the management of melon will have to be changed to adapt to climate change, to continue being a great option to farmers in the semi-arid region.

Key-words: *Cucumis melo L.*, greenhouse effect, climate change.

Introdução

Os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção vegetal, os ecossistemas e a saúde humana são uma preocupação mundial, que repercutiu em compromissos assumidos pelas nações em reduzir e remover emissões de gases de efeito estufa.

Segundo o Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), em 2014, a concentração de CO₂ nas últimas décadas aumentou de 250 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ antes da revolução industrial, para 350 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ em 1989, e 384 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ atualmente, com um aumento de 5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ por ano, podendo atingir 550 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, em 2050, e acima de 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, no fim deste século.

Assim, no final de 2009 foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187, de 29/12/2009), que instiga os diversos setores da economia, em específico o agroindustrial, a pesquisar, desenvolver e adotar tecnologias de baixo carbono (Brasil, 2009).

As alterações na concentração de CO₂ atmosférico tem efeito sobre o comportamento fisiológico das plantas, já que o dióxido de carbono é importante para a fotossíntese e pode influenciar os processos metabólicos nas mesmas (Rezende et al., 2015).

Segundo alguns cenários propostos no quinto relatório IPCC em 2014, safras de milho, arroz e trigo podem sofrer quedas da ordem de 25% nas próximas décadas em decorrência das alterações no clima do planeta. Se por um lado o excesso do CO₂ contribui no crescimento de plantas, por exemplo, pode haver redução nos teores de proteína das sementes, comprometendo a qualidade do alimento (IPCC, 2014).

Com relação à fixação do carbono, há uma distinção entre plantas com metabolismo fotossintético C3 e aquelas com metabolismo C4. As plantas C4 são mais eficientes na fixação do carbono e a perda de CO₂ durante o processo de fotorrespiração é desprezível (Pimentel et al., 2007).

Em ambiente com elevado CO₂ a perda por fotorrespiração será minimizada e a tendência é que as plantas C3 (como o meloeiro) aumentem sua taxa de fixação de carbono. Já as plantas C4, que possuem naturalmente uma concentração de CO₂ cinco vezes maior nas células da bainha vascular (Furbank e Hatch, 1987), local em que ocorre a fixação do carbono, do que no ambiente, em teoria, não são capazes de apresentar respostas ao incremento de CO₂.

Entretanto, as mudanças climáticas previstas não se restringem ao aumento de dióxido de carbono, devendo ocorrer concomitante um aumento da temperatura e uma redução na oferta hídrica, em especial em oferta de águas de boa qualidade.

Experimentos em condições controladas com pimenta tabasco (Paula et al., 2011), com pepino (*Cucumis sativus*) (Kosobryukhov, 2009) ou em condições de campo com meloeiro (Pinto et al., 2006), e com tomateiro (Branco et al., 2007), demonstraram resposta positiva das plantas, como aumento da produtividade, ao enriquecimento do CO₂ no ambiente. Estudos de Walter et al. (2010), utilizando enriquecimento de CO₂ ao ar livre em arroz também verificaram resultados positivos.

Estudos em condições controladas de temperatura e umidade apontam incrementos médios de 30% na produtividade de várias plantas com metabolismo C3, quando submetidas à atmosfera com o dobro da concentração atual de CO₂. Em condições não controladas, em campo, os ganhos de produtividade foram inferiores, de 10 a 28% (Lima e Alves, 2008).

A utilização de câmaras de topo aberto (CTAs), de sistema FACE (Free air carbon dioxide enrichment), ou ainda a fertirrigação com CO₂, são metodologias que permitem conduzir estudos com enriquecimento de CO₂ em todos os estádios de desenvolvimento das plantas.

A condução de experimentos em câmaras de topo aberto modificadas permite a obtenção de respostas ao gás em condições naturais, que incluem as flutuações diárias e sazonais do clima.

Segundo Miglietta et al. (2001), esses experimentos são a melhor alternativa para expor uma pequena área de vegetação às elevadas concentrações de dióxido de carbono, com uma alteração mínima no ambiente em que as plantas estão crescendo.

Apesar dessas câmaras (CTAs) serem uma solução prática, econômica e que permitem conduzir estudos com aplicação de CO₂ em todos os estádios de desenvolvimento das plantas, variáveis como a temperatura e o déficit de pressão parcial de vapor d'água no seu interior são superiores aos do exterior, e por isso, a previsão de aumento da produtividade agrícola, baseada nestes estudos, ainda é discutível (Ghini, 2005).

Por outro lado, o sistema FACE apresenta algumas desvantagens como infraestrutura de maior valor econômico, flutuações na concentração de CO₂ devido à dinâmica inerente ao sistema, gradientes da concentração de CO₂

causados por rajadas de vento e alto custo de manutenção (Romano, 2006).

Por sua vez, o enriquecimento de CO₂ via fertirrigação permite injetar CO₂ em curto período, quando a demanda por carboidratos é elevada, como no início do desenvolvimento dos órgãos de interesse econômico, sendo uma alternativa para incrementar a produção de massa seca de determinadas culturas (Pimentel, 2004). No entanto, os efeitos do uso dessa técnica devem ser testados para cada cultura e sua fase de desenvolvimento, objetivo do cultivo e duração do tratamento (Long et al., 2006).

Por essa técnica, D'Albuquerque Junior et al. (2007), concluíram que as aplicações realizadas no florescimento e frutificação contribuíram para o incremento na produção do meloeiro na ordem de 17% e 18%, respectivamente, quando comparado com a testemunha (sem aplicação de CO₂).

O meloeiro (*Cucumis melo L.*) é uma olerícola bastante rentável e muito cultivada no semiárido nordestino, se configurando como um importante negócio para os produtores desta região. Apresenta bons rendimentos, principalmente nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, além de Bahia e Pernambuco. Os dois primeiros estados são responsáveis por 45% e 38%, respectivamente, da produção nacional (IBGE, 2014).

Dentre os híbridos existentes, aqueles pertencentes à variedade botânica *Inodorus* são os mais cultivados, com destaque para o tipo amarelo que corresponde a mais de 60% do melão exportado, seguido dos tipos Honey dew com 15,1% e pele de sapo com 9,29% (Sales Junior et al., 2006).

Em função da importância econômica e social da cultura, é fundamental se estudar o comportamento do meloeiro frente ao aumento de dióxido de carbono na atmosfera, previsto nas mudanças climáticas. Alie-se a isso o fato do

mesmo ser cultivado em regiões do Nordeste brasileiro com elevadas médias de temperatura e baixa precipitação pluviométrica. Além disso, o meloeiro, por ser uma planta C3, pode perder até 50% de seu carbono recém-fixado durante a fotorrespiração (Taiz e Zeiger, 2013).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento inicial e as trocas gasosas de plantas de meloeiro cultivadas em condições de elevado CO₂.

Material e Métodos

Área experimental

O trabalho foi realizado na Embrapa Semiárido (09° 09' S, 40° 22' O), Petrolina, PE. O solo do plantio foi um ARGISSOLO AMARELO e o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Bsw^h, muito quente e semiárido, com estação chuvosa no verão e elevada evaporação. O experimento foi conduzido entre março e abril de 2014, com cerca de 30 dias de duração.

Ao redor da área experimental, onde se localizavam as estufas, foi plantada a cana-de-açúcar com a função de quebra-ventos.

Durante o período de condução das plantas de meloeiro, choveu aproximadamente 62 mm, possibilitando assim uma maior umidade para o solo em estudo.

Caracterização dos tratamentos

Foram utilizadas estufas de topo aberto modificadas (CTA) (Figura 1). Essas câmaras são de estruturas circulares, emolduradas com barras de alumínio e filme de PVC transparente, com 2 m de diâmetro e 1,2 m de altura. Os tratamentos consistiram de: 1- Estufa com plástico lateral mais adição de CO₂ (550 ppm); 2- Estufa com plástico lateral e CO₂ ambiente e 3- Sem plástico e CO₂ ambiente.



Figura 1. Detalhe das câmaras de injeção de CO₂.

O delineamento foi em blocos casualizados, com três repetições.

A concentração de CO₂ foi medida por analisadores de gás infravermelho (IRGA), que forneceram informações a um controlador que atua na regulação de abertura de válvulas para a injeção de CO₂ na CTA modificada.

As condições meteorológicas foram monitoradas por um datalogger CR23X (Campbell Scientific INC.), programado para medir os sensores a cada segundo e gravar dados a cada minuto.

O sistema de injeção de CO₂ constava de cilindros de dióxido de carbono, manômetro, painel de controle e sensores de temperatura e umidade do ar (HMP45C, Vaisala), radiação solar global (CM3, Kipp e Zonen), radiação fotossinteticamente ativa (LI-190, Li-Cor), velocidade e direção do vento (05103, Young), e precipitação (TB4, Hydrological Services).

As liberações de CO₂ eram acionadas às 6:00 da manhã e suspensas às 18:00 da noite.

Plantio e condução da cultura

O plantio das sementes do meloeiro (melão Amarelo – variedade Goldex) foi feito em bandejas de plástico com substrato comercial, com posterior transplantio das plântulas para dentro das estufas de CO₂ no campo, sendo as plantas cultivadas diretamente no solo.

Toda a etapa de germinação das sementes foi realizada dentro das estufas, para que as plântulas já estivessem aclimatadas quando do transplantio. As sementes germinaram em aproximadamente oito dias.

Para cada estufa foram transplantadas 10 plantas de meloeiro, sendo realizadas coletas destrutivas das plantas aos 10, 15, 20, 25 e 30 dias após o transplantio. Foram retiradas duas plantas por época amostrada, em cada parcela, para mensuração das variáveis de crescimento, utilizando-se pinças e luvas para que as raízes não fossem danificadas. Aplicou-se água próximo ao sistema radicular das plantas, permitindo a remoção das mesmas mais facilmente.

A adubação foi realizada de acordo com a análise de solo (Tabela 1), seguindo a recomendação de adubação mineral para o meloeiro no Nordeste (Crisóstomo et al., 2002). Como resultado, a quantidade de fertilizantes utilizada no experimento foi: 89 kg ha⁻¹ de ureia, como fonte de nitrogênio (N), 413 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo, como fonte de fósforo (P) e 89 kg ha⁻¹ do fertilizante cloreto de potássio como fonte de potássio (K).

Foram realizadas capinas manuais sempre que necessário e utilizados inseticidas, como o ACTARA, para combate à mosca branca, tripses e larva minadora durante todo o período experimental.

Tabela 1. Análise de fertilidade do solo feita no início do experimento com meloeiro amarelo sob alta concentração de dióxido de carbono na atmosfera (Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, fevereiro de 2014).

	C.E.	pH	M.O	P	K	Na	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamentos	mS cm ⁻¹ ₁		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					%	mg dm ⁻³			
Testem. B1*	0,27	6,2	7,6	47,1	0,19	0,04	2,2	0,5	1,4	2,9	4,4	67,0	1,0	41,1	59,8	4,7
Testem. B2	0,26	6,1	9,0	37,2	0,21	0,05	2,6	1,0	1,6	3,9	5,5	70,7	1,5	67,6	61,3	4,3
Testem. B3	0,20	5,2	10,1	19,9	0,17	0,03	2,0	0,5	3,0	2,7	5,7	47,0	0,9	51,7	33,2	2,6
S/ CO ₂ B1**	0,27	6,2	11,8	34,3	0,23	0,04	2,5	1,0	1,9	3,8	5,7	66,3	1,1	54,2	56,3	3,8
S/ CO ₂ B2	0,27	5,8	3,4	54,8	0,25	0,06	2,6	1,0	2,1	3,9	6,0	65,3	1,1	38,3	54,6	5,8
S/ CO ₂ B3	0,14	5,2	9,5	35,2	0,12	0,03	2,0	0,5	2,7	2,7	5,4	49,3	1,3	68,3	39,0	3,1
C/ CO ₂ B1***	0,27	6,0	9,7	50,3	0,23	0,06	2,6	0,9	2,1	3,8	5,9	64,6	1,3	82,7	44,1	5,1
C/ CO ₂ B2	0,25	6,0	10,3	42,2	0,17	0,03	2,5	0,9	1,8	3,6	5,4	67,2	1,0	36,0	57,4	4,0
C/ CO ₂ B3	0,14	5,0	9,3	28,1	0,11	0,03	2,1	0,5	3,4	2,7	6,1	44,9	1,1	65,5	27,6	2,7

Testem. B1* – testemunha com CO₂ ambiente bloco 1
 S/ CO₂ B1** – CO₂ ambiente com plástico bloco 1
 C/ CO₂ B1*** – Alto CO₂ com plástico bloco 1 (550 ppm)

A irrigação foi feita diariamente por meio de gotejadores, de acordo com a necessidade hídrica da cultura e do clima da região. A condutividade elétrica do estrato saturado do solo (CE_{es}) foi de aproximadamente 0,27 dS m⁻¹.

Variáveis analisadas

As variáveis analisadas em cada período amostral (a cada cinco dias) foram: comprimento da raiz (Comp. raiz) e da parte aérea (Comp. PA) em cm (medidos com uma régua), número de folhas (NF), área foliar (AF) em cm² (integrador de área foliar LI-3100C, LI-COR), pesos das massas da matéria fresca e seca da raiz (MFR e MSR) e da parte aérea (MFPA e MSPA) (balança).

As plantas retiradas foram armazenadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar, a 70°C, até atingir o peso constante.

Com os dados de peso, área e comprimento foram estimadas as seguintes variáveis não lineares de crescimento: razão de área foliar (RAF) em cm² g⁻¹, taxa assimilatória líquida (TAL) em g dm⁻² dia⁻¹, taxa de crescimento absoluto (TCA) em g dia⁻¹ e taxa de crescimento relativo (TCR) em g g⁻¹ dia⁻¹. Essas variáveis foram calculadas segundo Benincasa (1988).

A RAF é a relação entre área foliar (AF) e a massa seca total da planta (MST):

$$RAF = \frac{AF}{MST} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: AF = área foliar em cm²
 MST = massa seca total da planta em g.

A TAL representa o incremento em matéria seca por cada unidade de superfície de área foliar disponível à planta, durante um certo intervalo de tempo pré-determinado:

$$TAL = \frac{(MST2 - MST1) \times (\ln AF2 - \ln AF1)}{(AF2 - AF1) \times (T2 - T1)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: lnAF = logaritmo neperiano da área foliar
 T2 e T1 = tempo em dias

Já a TCA representa o ganho de matéria seca de uma planta sem levar em consideração o material inicial existente que deu origem a esse ganho:

$$TCA = \frac{(MST2 - MST1)}{(T2 - T1)} \quad (\text{Eq. 3})$$

Por fim, a TCR equivale a quantidade de material vegetal produzido por determinada quantidade de material existente, durante um intervalo de tempo prefixado:

$$TCR = \frac{(\ln MST2 - \ln MST1)}{(T2 - T1)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: $\ln MST$ = logaritmo neperiano da massa seca total.

A temperatura foliar ($^{\circ}C$), a fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram mensuradas com o auxílio de um analisador de gás por infravermelho (IRGA) (LCpro, ADC, Hoddesdon, UK) no final do experimento (30 dias após o transplante), no horário de 9:00 as 12:00 da manhã nas folhas mais desenvolvidas (4 folhas por repetição).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e feita comparação entre médias, aplicando o teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade quando os dados foram significativos para o teste F. O programa estatístico utilizado foi o ASSISTAT 7.6 beta.

Resultados e Discussão

Trocas gasosas

Para os dados de trocas gasosas aos 30 dias de experimento, a condutância estomática e a temperatura foliar foram as únicas variáveis que não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, provavelmente devido ao correto suprimento de água para todos os tratamentos estudados (Tabela 2).

Apesar de não significativa estatisticamente, a temperatura foliar dentro das estufas com injeção de CO_2 (550 ppm) foi aumentada, com uma média de $42^{\circ}C$, enquanto no tratamento sem injeção de CO_2 , com plástico, essa média foi de $39,4^{\circ}C$ entre o horário de 9:00 às 12:00 h. Já a testemunha (360 ppm), sem plástico, a média foi de aproximadamente $38,2^{\circ}C$ para os mesmos horários (Figura 2).

Logo, o plástico das estufas fez com que a temperatura foliar aumentasse. Vale salientar que esses valores elevados de temperatura foliar foram mensurados por volta de 11:00h, período em que a temperatura ambiente também era elevada.

Em trabalhos reunidos por Jones e Curtis (2000) são feitas diversas referências de que o aumento da concentração de CO_2 provoca alterações no metabolismo das plantas, como aumento na taxa fotossintética, melhor eficiência no uso da água e aumento de produção.

O mesmo comportamento de elevação da temperatura foi observado para a transpiração das plantas, com o menor valor no tratamento controle, seguido do tratamento com plástico sem aumento de CO_2 e o maior valor nas plantas cultivadas sob plástico, com aumento de CO_2 .

Aqui, houve significância entre os tratamentos (Figura 2).

Neste experimento com meloeiro, não houve diferença entre os tratamentos com relação à condutância estomática. Para Passioura (1982), em condições de alta temperatura e aumento da concentração de CO_2 , o fechamento estomático é uma importante estratégia de defesa de plantas para minimizar a perda de água. Nessas condições, segundo Taiz e Zeiger (2013), o movimento estomático constitui-se num importante meio de defesa vegetal contra perdas excessivas de água e eventual morte por dessecação, além disso, as células-guarda são sensíveis aos níveis de CO_2 .

O aumento na concentração de CO_2 disponível para as plantas proporcionou um aumento acentuado na fotossíntese líquida das mesmas (Figura 2). Em plantas C3, que é o caso do meloeiro, o aumento do CO_2 atmosférico acima do ponto de compensação estimula a fotossíntese em uma ampla faixa de concentração, especialmente porque a carboxilação toma o lugar da oxigenação pela rubisco, o que provavelmente ocorreu neste experimento.

O aumento da taxa fotossintética com a elevação do CO_2 atmosférico torna-se limitada pela capacidade do ciclo de Calvin-Benson regenerar a molécula aceptora ribulose-1,5-bis-fosfato, que é dependente das taxas de transporte de elétrons.

Grandis (2010), estudando as respostas fotossintéticas da espécie amazônica *Senna reticulata* sob elevado CO_2 , observou efeitos significativos nas taxa fotossintética aos 30 e 45 dias nas plantas do elevado CO_2 (cerca de 28%), em que o aumento da fotossíntese nestas plantas pode ser explicado pelo aumento de pressão de CO_2 no sítio ativo da enzima Rubisco.

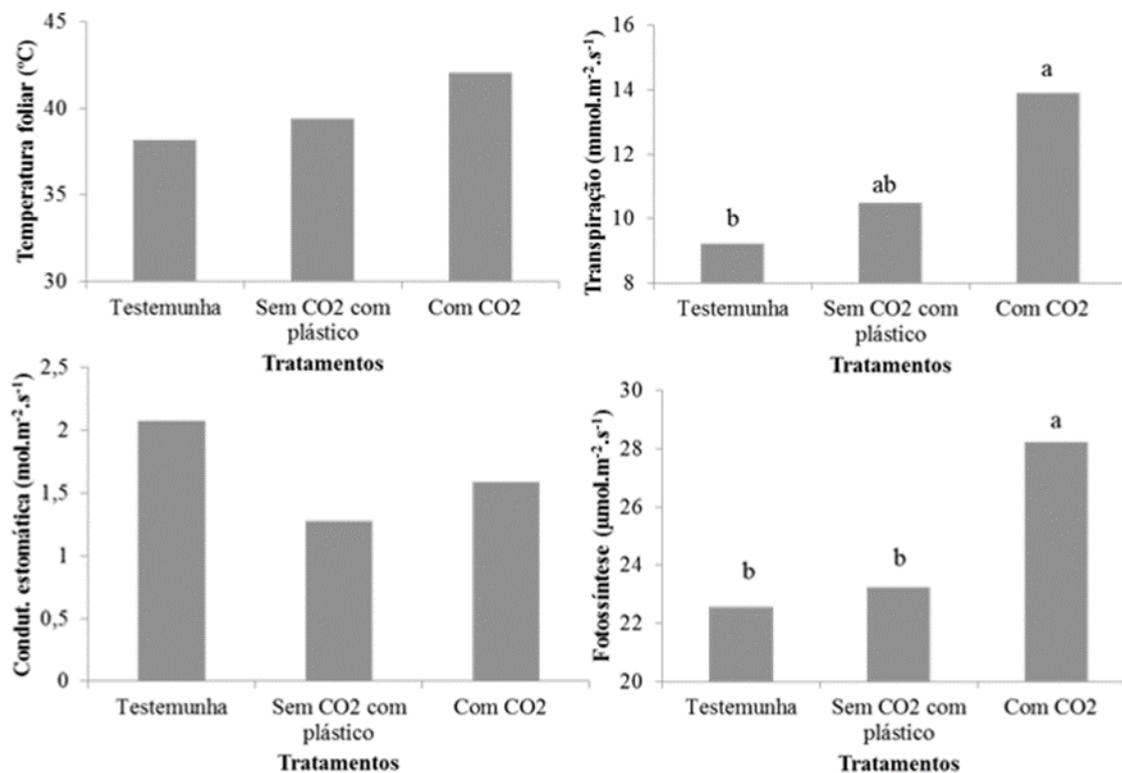
Plantas bem hidratadas com rota fotossintética C3 são muito mais responsivas ao aumento do CO_2 que as plantas C4, com a taxa fotossintética líquida aumentando 20% ou mais em plantas C3, em função do aumento nos níveis de CO_2 intercelular (Taiz e Zeiger, 2013).

Segundo Taiz e Zeiger (2013), o CO_2 difunde-se da atmosfera para as folhas: primeiramente através dos estômatos, depois através dos espaços intercelulares e, finalmente, para o interior de células e cloroplastos.

Tabela 2. Análise de variância para as variáveis de trocas gasosas aos 30 dias: temperatura foliar, transpiração, condutância estomática e fotossíntese líquida.

Fator de variação	G L	Quadrado médio (QM)			
		Temperatura foliar (°C)	Transpiração (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Cond. estomática (mol m ⁻² s ⁻¹)	Fotossíntese (µmol m ⁻² s ⁻¹)
Blocos	2	2,71801 ns	8,57954 ns	1,23844 ns	7,77963 ns
Tratamentos	2	11,77314 ns	17,59154 *	0,48472 ns	28,64920 *
Resíduo	4	1,93241	1,62151	0,75052	7,19013
CV (%)		3,49	11,37	52,75	10,86

*,**: significativo a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo.



Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Figura 2. Variáveis de trocas gasosas: temperatura foliar, transpiração, fotossíntese líquida e condutância estomática de plantas de meloeiro submetidas a diferentes concentrações de CO₂.

Na presença de quantidades adequadas de luz, concentrações mais elevadas de CO₂ sustentam taxas fotossintéticas maiores, por isso que os dados de fotossíntese foram maiores no tratamento com injeção de CO₂.

Segundo Leakey et al. (2009), a condutância estomática seria diminuída pela maior eficiência no uso da água por área cultivada. Ainda segundo esses autores, com base em estudos de plantas cultivadas em campo e seguindo a previsão da concentração de CO₂ para 2050, são cinco os principais efeitos do aumento

de CO₂ ambiente no metabolismo de carbono: (1) incremento da assimilação de CO₂ e da produção de biomassa; (2) aumento da eficiência de uso de nitrogênio, porque menos Rubisco será necessária e conseqüentemente haverá menor produção dessa enzima; (3) redução da condutância estomática, com maior eficiência de uso de água por planta e por área cultivada; (4) estímulo da taxa de respiração mitocondrial, devido o aumento da transcrição e atividade enzimática e (5) ausência de estímulo direto de fotossíntese em plantas C₄, em que, entretanto, para essas haverá estímulo

indireto em condições de seca, uma vez que haverá redução da condutância estomática das plantas C4 nos horários de maior demanda evaporativa atmosférica.

Crescimento e desenvolvimento

Mesmo com valores de transpiração e fotossíntese líquida elevados, o tratamento com CO₂ (550 ppm) foi o que obteve menor crescimento (Figura 3).

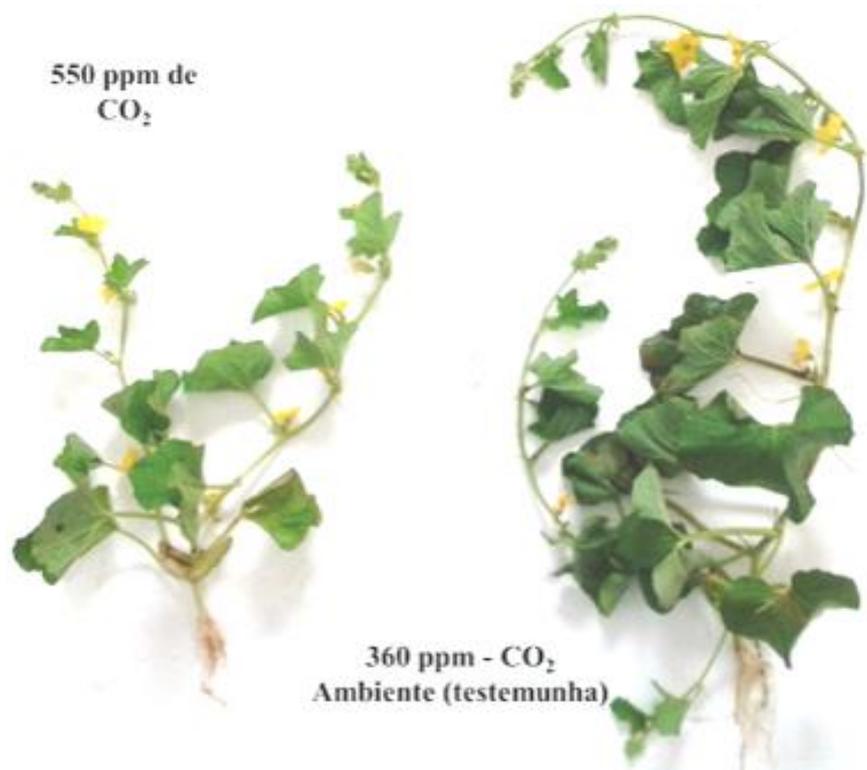


Figura 3. Crescimento de plantas de meloeiro com 30 dias cultivadas com alto CO₂ (550 ppm) – à esquerda, e CO₂ ambiente (360 ppm – testemunha) – à direita.

O crescimento das plantas foi linear para as variáveis estudadas ao longo do ciclo de crescimento (Figura 4).

Ito (1989), estudando a produção do alface sobre condições controladas artificialmente, testou quatro níveis de CO₂ atmosférico e obteve melhor razão de crescimento e qualidade das cabeças para o nível de 600 ppm de CO₂. Também foi observado que o incremento adicional em concentração de CO₂ resultou em pequena redução de matéria fresca, o que aconteceu no presente estudo com a cultura do meloeiro amarelo.

Houve diferença significativa para quase todas as variáveis de crescimento estudadas (comprimento da raiz, número de folhas, área foliar) aos 30 dias de experimento (Tabela 3).

Esses resultados sugerem que as taxas de alongamento e divisão celulares foram afetadas negativamente nas câmaras com elevado CO₂. Este resultado deve estar relacionado ao aumento da temperatura neste ambiente causado não

somente pela presença do plástico, mas também pela maior concentração de CO₂, uma vez que este gás absorve calor.

O aumento de temperatura resultou no aumento da transpiração que por sua vez deve ter imposto um menor nível de hidratação dos tecidos foliares prejudicando a capacidade de expansão por turgescência. Pode ter ocorrido ainda uma maior taxa respiratória dessas plantas, principalmente durante o período noturno, em função do aumento da temperatura durante o dia, prejudicando assim a formação de reservas e o investimento em acúmulo de massa seca durante toda sua fase de crescimento até os 30 dias após o transplantio.

Para o número de folhas e área foliar, houve um decréscimo de 51,3% e 80%, respectivamente, no ambiente protegido com plástico e enriquecido com CO₂ em relação à testemunha. Já para o comprimento da raiz o decréscimo foi de 26,9% no ambiente protegido com plástico e enriquecido com CO₂ em relação à testemunha (Figura 5).

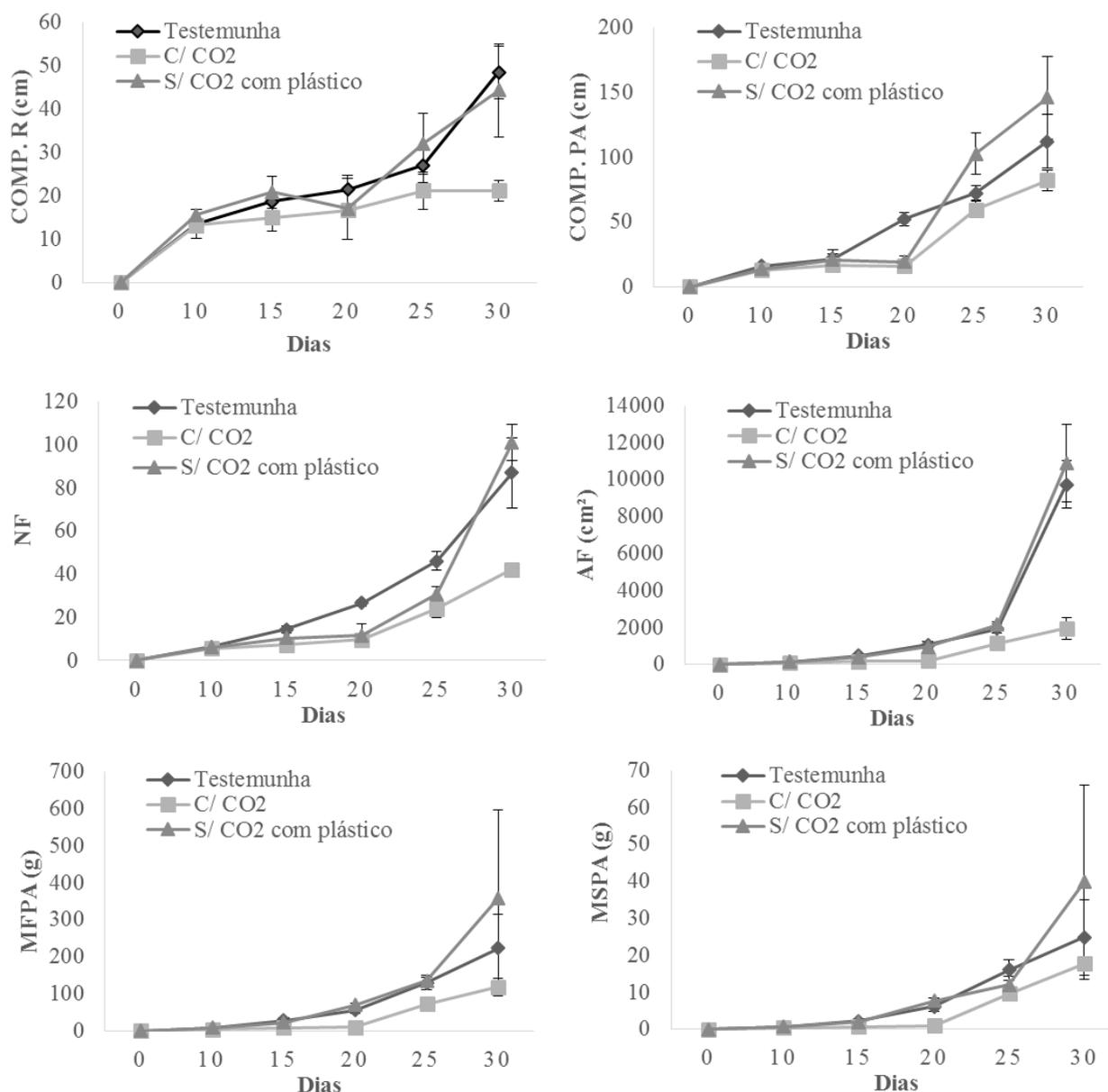
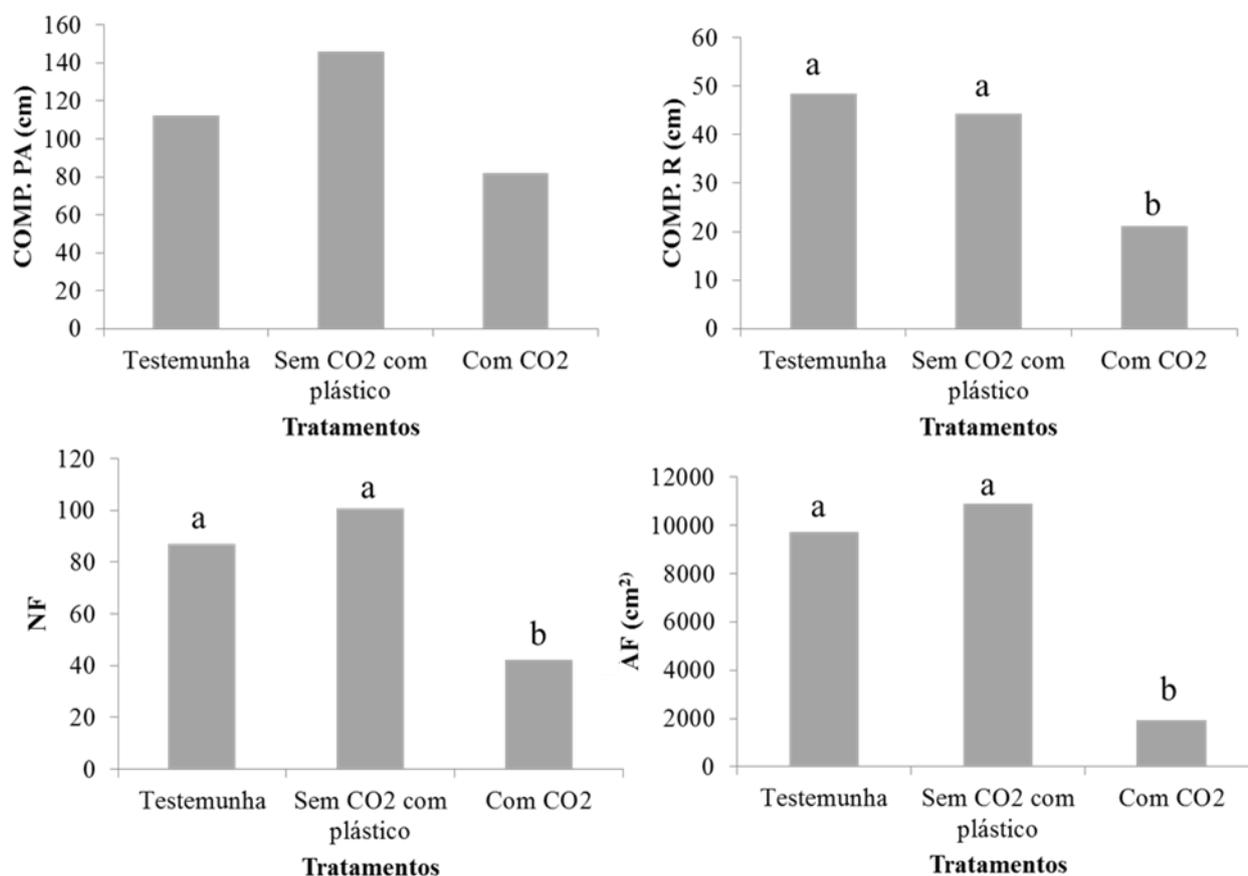


Figura 4. Comprimento da raiz (COMP. R) e da parte aérea (COMP. PA), número de folhas (NF), área foliar (AF) e massa fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) de plantas de meloeiro sobre efeito do incremento do CO₂.

Tabela 3. Análise de variância para as variáveis de crescimento aos 30 dias: comprimento da parte aérea e da raiz, número de folhas e área foliar.

Fator de variação	G L	Quadrado médio (QM)			
		Comp. PA (cm)	Comp. Raiz (cm)	Número de folhas	Área foliar (cm ²)
Blocos	2	25,18750 ns	65,28083 ns	72,44444 ns	1179207,63697 ns
Tratamentos	2	3075,06250 ns	648,06083 *	2816,44444 **	70868690,9929 **
Resíduo	4	745,156	45,81417	134,44444	261.881,862
CV (%)		24,07	17,80	15,10	21,56

*, **: significativo a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo.



Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente na mesma pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 5 – Variáveis de crescimento: comprimento da raiz, comprimento da parte aérea, número de folhas e área foliar de plantas de meloeiro submetidas a diferentes concentrações de CO₂.

Na Figura 6 encontra-se os dados de razão de área foliar (RAF), taxa assimilatória líquida (TAL), taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) até os 25 dias de crescimento de plantas de meloeiro sob efeito do incremento do CO₂.

Como pode ser observado, até os 20 dias de crescimento, a taxa assimilatória líquida (TAL) foi menor nas plantas sob elevado CO₂. Entretanto, dos 20 aos 25 dias, houve um pronunciado incremento na TAL das plantas crescidas no ambiente enriquecido com CO₂ (Figura 6).

Tendência esta que deve ter sido mantida dos 25 aos 30 dias, uma vez que a taxa fotossintética das plantas aos 30 dias (Figura 2), uma medida instantânea da assimilação do CO₂ atmosférico, foi mais elevada nas plantas desse tratamento.

Esses resultados indicam que inicialmente houve um retardo no processo de crescimento das plantas sob enriquecimento com CO₂, que em seguida, após os 20 dias, tal comportamento tendeu a ser revertido.

Inicialmente, as maiores temperaturas neste tratamento podem ter impactado mais intensamente a expansão dos tecidos devido a um menor volume do sistema radicular e de sua capacidade em repor água perdida pela maior transpiração. Nesta condição, a planta mais jovem, provavelmente, seria mais sensível à maior temperatura, apresentando restrição de condutância estomática visando economia de água, mas que implicaria em menores taxas de assimilação fotossintética. Com o progresso do desenvolvimento das plantas, é possível que o sistema radicular tenha alcançado um volume mais favorável para o atendimento da demanda transpiratória e, com isso, conseguido intensificar a TAL em função de um aumento fotossintético permitido por maior abertura estomática.

O comportamento da TAL foi refletido nas taxas de crescimento relativo e absoluto (Figura 6). Aqui também se observa que inicialmente as taxas de crescimento das plantas sob maior concentração de CO₂ foram baixas, com uma pronunciada elevação da TCR entre 20 e 25 dias. Isso sugere que essas venham a ter um

crescimento mais vigoroso com o prosseguimento do ciclo de desenvolvimento.

Saliente-se que a maioria absoluta do material fotossintético fixado vai para o crescimento da parte aérea das plantas (aos 25 dias, cerca de 98% da massa seca estava na parte aérea), o que torna mais importante essa taxa de crescimento.

Segundo Grandis (2010), a TAL e a TCR apresentam uma tendência de serem maiores em elevado CO₂, o que não aconteceu neste experimento. No presente experimento, as taxas de crescimento foram menores nos tratamentos com alto CO₂ porque o ganho de matéria seca e

área foliar foram menores nesse tratamento. A importância de se estudar as variáveis não lineares de crescimento decorre do fato de se poder analisar essa variação ao longo do ciclo de crescimento da planta (Duncan e Hesketh 1968; Dijkstra e Lambers 1989; Poorter et al, 1990).

A razão de área foliar foi menor no tratamento com alto CO₂ porque os valores de área foliar foram baixos, decorrência das altas taxas transpiratórias e respiratórias, diminuindo assim a área disponível para realizar a fotossíntese, prejudicando o desenvolvimento da planta, principalmente o crescimento da folha.

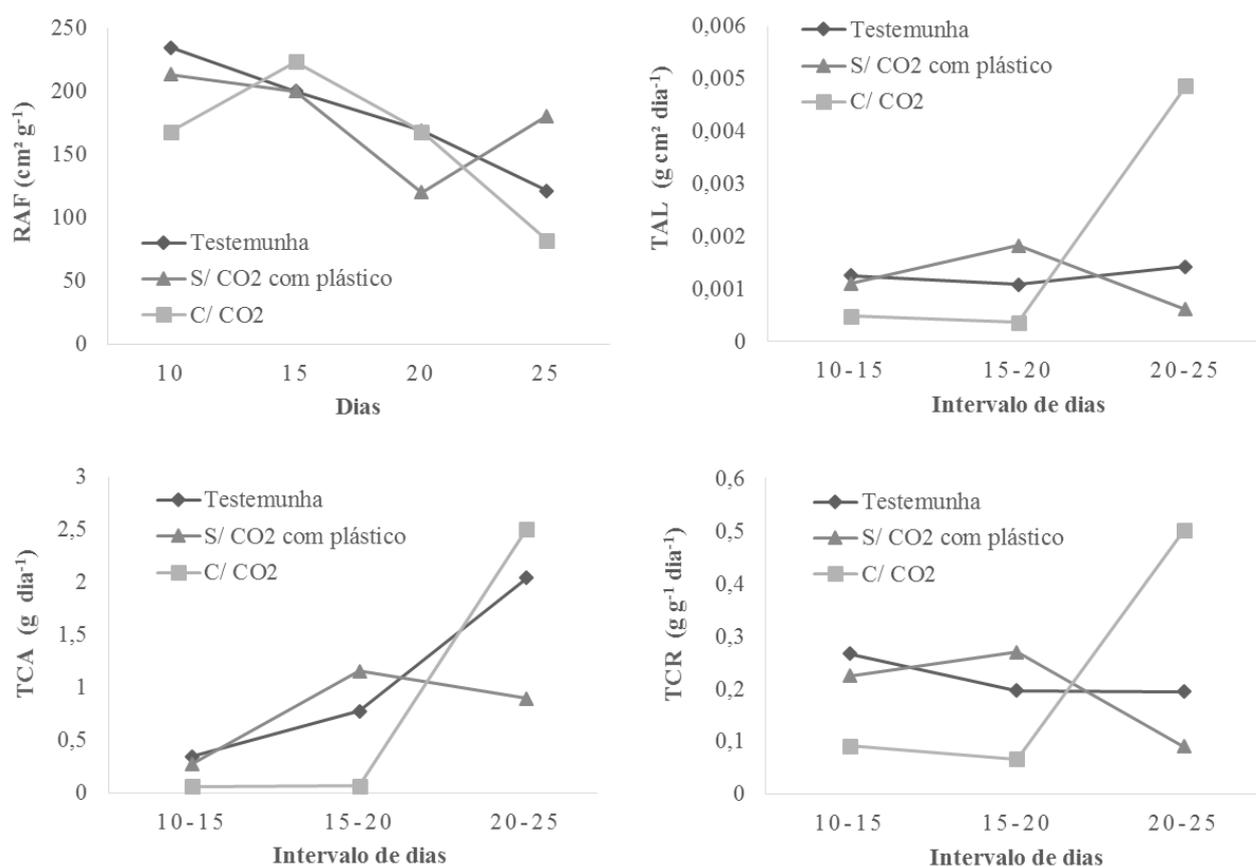


Figura 6. Razão de área foliar (RAF), taxa assimilatória líquida (TAL), taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) de plantas de meloeiro sobre efeito do incremento do CO₂.

Arenque et al. (2014), estudando as respostas de plantas *Senna reticulata* (árvore leguminosa da Amazônia), cultivadas sob alto CO₂ e encharcamento, observaram que a resposta da biomassa total foi maior sob CO₂ elevado (760 ppm) aos 30, 45 e 120 dias, resultando em mais de 30% de produção de biomassa em comparação com o tratamento controle (CO₂ ambiente – 380 ppm). Após 135 dias, ainda segundo esses autores, os resultados foram invertidos, em que nos tratamentos com elevada concentração do CO₂ foram observados menores valores de biomassa

total, indicando efeitos negativos no crescimento após uma exposição a longo prazo ao CO₂

Nas condições estudadas (que refletem as mudanças climáticas ocorridas na natureza, uma vez que o aumento de CO₂ atmosférico é concomitante com o aumento da temperatura), o meloeiro, por ser uma planta C₃, teve a fotossíntese líquida aumentada ao mesmo tempo em que se elevaram a transpiração, devido principalmente a alta temperatura do ambiente. Logo, o aumento de temperatura, provavelmente, mesmo com bom suprimento hídrico, trouxeram

malefícios para as plantas de meloeiro, como diminuição do crescimento (área foliar, número de folhas e massa seca) e altas taxas transpiratórias.

Observações semelhantes foram verificadas por Streck e Alberto (2006), em que os autores concluíram que o enriquecimento de CO₂ combinado com altas temperaturas pode apresentar efeito maléfico às culturas. O aumento da temperatura do ar em 2; 3; e 6 °C anulou os efeitos benéficos do aumento de CO₂ no rendimento do milho, trigo e soja, respectivamente.

Já Walter et al. 2010, descreve que o efeito benéfico do CO₂ poderá ser anulado pelo efeito negativo das altas temperaturas nos cultivos de arroz. Ruiz-Vera et al. (2013) determinaram que o aquecimento inverteu o esperado estímulo da fotossíntese e da produtividade de soja advindo do incremento de CO₂.

Os efeitos do aumento das concentrações de dióxido de carbono e de temperatura sobre o crescimento e produção das plantas em condições de campo foram poucos estudados em regiões tropicais (Tubiello et al., 2007), em comparação com estudos em ambientes temperados (Körner, 2009).

Percebe-se então que o comportamento das plantas frente ao aumento de CO₂ na atmosfera difere entre espécies, cultivares, local e tempo de exposição da planta ao gás em questão.

Logo, em condições de alto CO₂ e temperaturas ótimas, no estudo do meloeiro, haverá um aumento no crescimento e nas trocas gasosas das plantas, e conseqüentemente da sua produtividade.

No entanto, em temperaturas acima das consideradas adequadas para o desenvolvimento das plantas, as plantas serão afetadas negativamente quanto ao seu crescimento e produtividade.

Assim, por o meloeiro ser bastante cultivado no Brasil, principalmente em regiões semiáridas com pouca disponibilidade de água e que apresenta grande parte das águas subterrâneas salinas, o manejo dessa cultura deverá ser mais eficiente que o atualmente praticado (manejo de irrigação sem perdas e excessos).

No cenário futuro de mudanças climáticas, a elevação da temperatura e do CO₂ ambiente exigirá que esse manejo seja mais aperfeiçoado, com maior aproveitamento de águas salinas e com a nutrição mineral ajustada, já que as plantas irão apresentar altas taxas transpiratória e respiratória, com maior consumo de água e nutrientes.

Conclusões

Araújo; L. F. de; Oliveira; N. P dos S.; Silva; R. M. e; Bezerra; M. A.; 4; Angelotti; F.

- a) A elevação da concentração de CO₂ proporcionou um aumento nas taxas transpiratórias e fotossintéticas das plantas de meloeiro;
- b) O aumento da temperatura, provocado pelo plástico e pelo incremento de CO₂ nas câmaras, provocou um decréscimo no crescimento das plantas, principalmente na área foliar e na massa seca, prejudicando o desenvolvimento das mesmas.
- c) Estudos futuros por variedades mais tolerantes à alta temperatura podem ser fundamentais para a sustentabilidade da cultura no semiárido.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal), à Embrapa Agroindústria Tropical, à Embrapa Semiárido, à Universidade Federal do Ceará (UFC) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

Referências

- Arenque, B.C., Grandis, A., Pocius, O., Souza, A.P.de, Buckeridge, M.S., 2014. Responses of *Senna reticulata*, a legume tree from the Amazonian floodplains, to elevated atmospheric CO₂ concentration and waterlogging. *Trees* 28, 1021-1034.
- Benincasa, M.M.P., 1988. Análise de Crescimento de Plantas: noções básicas. FUNEP, Jaboticabal.
- Branco, R.B.F., Goto, R., Carneiro Júnior, A.G., Guimarães, V.F., Rodrigues, J.D., Trivelin, P.C.O., Silveira, L.V.deA., 2007. Enxertia e água de irrigação carbonatada no transporte de 15N e na produção do tomateiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11, 374-379.
- Brasil, 2009. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro.
- Crisóstomo, L.A., Santos, A.A.dos, Raij, B.V., Faria, C.M.B.de, Silva, D.J.da, Fernandes, F.A.M., Santos, F.J.deS., Crisóstomo, J.R., Freitas, J.deA.D.de, Holanda, J.S.de, Cardoso, J.W., Costa, N.D., 2002. Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o meloeiro no Nordeste. Embrapa-CNPAT, Fortaleza. (Embrapa-CNPAT. Circular Técnica,14).
- D'Albuquerque Junior, B.S., Frizzone, J.A., Duarte, S.N., Mingoti, R., Dias, N.daS., Sousa, V.F.de., 2007. Qualidade física e química de frutos de meloeiro rendilhado cultivado sob diferentes épocas de aplicação de CO₂ via água de irrigação. *Irriga* 12, 273-280.

- Dijkstra, P., Lambers, H., 1989. A physiological analysis of genetic variation in relative growth rate within *Plantago major* L. *Functional Ecology* 3, 577-587.
- Duncan, W.G., Hesketh, J.D., 1968. Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates and numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. *Crop Science* 8, 670-674.
- Furbank, R.T., Hatch, M.D., 1987. Mechanism of C4 photosynthesis the size and composition of the inorganic carbon pool in bundle sheath cells. *Plant Physiology* 85, 958-964.
- Ghini, R., 2005. Mudanças Climáticas Globais e Doenças de Plantas. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna.
- Grandis, A., 2010. Respostas fotossintéticas e de crescimento da espécie amazônica *Senna reticulata* sob elevada concentração de CO₂. Dissertação (Mestrado). São Paulo, IB-USP.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014. Disponível: www.ibge.gov.br. Acesso: 02 set. 2014.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Ito, T., 1989. More intensive production of lettuce under artificially controlled conditions. *Acta Horticulturae* 260, 381-389.
- Jones, M.H., Curtis, P.S., 2000. Bibliography on CO₂ effects on vegetation and ecosystems: 1990-1999 literature. ORNL/CDIAC 129.
- Körner, C., 2009. Responses of humid tropical trees to rising CO₂. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40, 61-79
- Kosobryukhov, A.A., 2009. Activity of the photosynthetic apparatus at periodic elevation of CO₂ concentration. *Russian Journal Plant Physioly* 56, 8-16.
- Leakey, A.D.B., Ainsworth, E.A., Bernacchi, C.J., Rogers, A., Long, S.P., Ort, D.R., 2009. Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany* 60, 2859-2876.
- Lima, M.A.de, Alves, B.J.R., 2008. Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. *Parcerias Estratégicas* 27,1-360.
- Long, S.P., Ainsworth, E.A., Leakey, A.D.B., Nosberger, J., Ort, D.R., 2006. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science* 312, 1918-1921.
- Miglietta, F., Peressotti, A., Vaccari, F.P., Zaldei, A., Angelis, P.de, Scarascia-Mugnozza, G., 2001. Free air CO₂ enrichment (FACE) of a poplar plantation: the POPFACE fumigation system. *New Phytologist* 150, 465- 476.
- Passioura, J.B., 1982. Water in the soil-plant-atmosphere continuum, in: Lange, O.L., Nobel, P.S., Os-Mond, C.B., Ziegler, H. (Eds.), *Physiological Plant Ecology II: water relations and carbon assimilation*. Springer-Verlag, Berlin. (Encyclopedia of Plant Physiology. New Series, 12B).
- Paula, F.L.M.de, Frizzone, J.A., Paula, A.L.de, Dias, C.T.dosS., Soares, T.M., 2011. Produção de pimenta tabasco com aplicação de CO₂, utilizando-se irrigação por gotejamento. *Acta Scientiarum: Agronomy* 33, 133-138.
- Pimentel, C.A., 2004. Relação da Planta com a Água. EDUR, Seropédica.
- Pimentel, C., Bernacchi, C., Long, S., 2007. Limitations to photosynthesis at different temperatures in leaves of Citrus lemon. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19, 141-147.
- Pinto, J.M., Faria, C.M.B.de, Feitosa Filho, J.C., 2006. Produtividade e qualidade de frutos do meloeiro, em função de nitrogênio e de CO₂ aplicados via fertirrigação. *Irriga* 11, 198-207.
- Poorter, H., Remkes, C., Lambers, H., 1990. Carbon and Nitrogen Economy of 24 Wild Species Differing in Relative Growth Rate. *Plant Physiology* 94, 621-627.
- Rezende, F.M.de, Souza, A.P.de, Buckeridge, M.S., Furlan, C.M., 2015. Is guava phenolic metabolism influenced by elevated atmospheric CO₂? *Environmental Pollution* 196, 483-488.
- Romano, R.A., 2006. Modelagem e controle de CO₂ em câmaras de topo aberto utilizadas em estudos de fisiologia vegetal. Dissertação (Mestrado). São Paulo, EPUSP.
- Ruiz-Vera, U., Siebers, M., Gray, S., Drag, D., Rosenthal, D., Kimball, B., Ort, D., Bernacchi, C., 2013. Global warming can negate the expected CO₂ stimulation in photosynthesis and productivity for soybean grown in the Midwestern United States. *Plant Physiology* 162, 410-423.
- Sales Júnior, D.F., Salviano, A.M., Nunes, G.H.S., 2006. Qualidade do melão exportado pelo porto de Natal-RN. *Ciência Rural* 36, 286-289.
- Streck, N.A., Alberto, C.M., 2006. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41, 1351-1359.

- Taiz, L., Zeiger, E., 2013. Fisiologia Vegetal. 5. ed. Artmed, Porto Alegre.
- Tubiello, F.N., Amthor, J.S., Boote, K.J., Donatelli, M., Easterling, W., Fischer, G., Giffordg, R.M., Howdenh, M., Reillyi, J., Rosenzweig, C., 2007. Crop response to elevated CO₂ and world food supply. European Journal of Agronomy 26, 215–223.
- Walter, L.C., Streck, N.A., Rosa, H.T., Kruger, C.A.M.B., 2010. Mudança climática e seus efeitos na cultura do arroz. Ciência Rural 40, 2411-2418.